

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

## **FAKULTA TEXTILNÍ**

---



**Využití luminiscenčních materiálů v textilních aplikacích**

**Use of luminescent materials in textile applications**

**LIBEREC 2012**

**RICHTEROVÁ JANA**

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## FAKULTA TEXTILNÍ

---

Katedra hodnocení textilií

Obor: N 3108 průmyslový management

Zaměření: Produktový management

### **Využití luminiscenčních materiálů v textilních aplikacích**

Use of luminescent materials in textile applications

Bc. Richterová Jana

PRM - 115

**Vedoucí práce: Ing. Martina Viková, PhD.**

**Konzultant: Doc. Ing. Michal Vik, PhD.**

Rozsah práce:

Počet stran: 73

Počet příloh: 3

Počet obrázků: 11

Počet tabulek: 6

Počet grafů: 20

V Liberci 14. 5. 2012

**Zde bude vložen originál Zadání diplomové práce**

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## P o d ě k o v á n í

Chtěla bych vyjádřit poděkování za konzultaci mé diplomové práce Ing. Martině Vikové PhD., za rady a náměty, jak diplomovou práci pojmout, dále pak panu Doc. Ing. Michalu Vikovi PhD. za ochotu při konzultaci obsahové stránky i odborné povahy práce a za výpomoc při měření.

V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za psychickou i materiální podporu jak při vypracovávání mé práce, tak při studiu.

#### Abstrakt:

Obsahem této práce je studium použití luminiscenčních pigmentů na froté výrobky. Teoretická část se zabývá pojmem luminiscence a jejími druhy, použitím luminiscenčních materiálů a metodami nanášení pigmentových barviv. Dále jsou v práci uvedeny metody měření luminiscence.

V experimentální části je popsán postup navrženého experimentu pro rovnoměrné nanesení luminiscenčních pigmentů na bavlněnou přízi a použité přístroje, na kterých byl experiment následně měřen. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách a grafech.

V závěru práce jsou okomentovány výsledky experimentu a reálnost využití navrženého vzorku vyhasínáním luminiscence s ohledem na dobu expozice a s ohledem na spektrální distribuci použitého světla.

#### Abstract:

The content of this work is to study the use of luminescent pigments for terry products. The theoretical part deals with the concept of luminescence and its species, the use of luminescent materials and methods of applying pigment. Then there are the methods the luminescence measurements.

The second part describes the procedure of the experiment designed to evenly painted cotton yarn and used the device on which the experiment was subsequently measured. Measurement results are presented in tables and graphs.

In the conclusion of the experiment results are commented and suggested the use of realistic sample luminescence extinction with respect to exposure time and to the spectral distribution of the light used.

Klíčová slova:

- luminiscence
- vyhasínání
- pigmentová barviva
- elektromagnetické záření
- barevné spektrum

Keywords:

- luminescence
- extinction
- Pigment dyes
- electromagnetic radiation
- color spectrum

## Seznam použitých zkratek a symbolů:

$C$	rychlost světla (m/s)
$E$	energie
$g/l$	gram/litr
$g/m^2$	gram/metr čtverečný
$h$	Planckova konstanta
$I$	intenzita vyzařování
$I_0$	konstanta
$mcd \cdot m^{-2}$	milicandela/metr čtverečný
$p_1$	parametr modelu
$p_2$	parametr modelu
$s$	časová jednotka - sekunda
$S_0$	singletní stav
$S_1$	excitovaný singletní stav
$S_2$	excitovaný singletní stav
$t$	čas
$T1$	tripletní stav
$T2$	tripletní stav
UV	ultrafialové záření
$\alpha$	konstanta
$\lambda$	vlnová délka (nm)
$\nu, f$	frekvence (Hz)



## Obsah:

1	Úvod .....	12
2	Teoretická část.....	13
2.1	Luminiscence .....	13
2.1.1	Historie a současnost luminiscence.....	13
2.1.2	Mechanismus luminiscence.....	14
2.1.3	Dělení luminiscenčních dějů .....	15
2.1.3.1	Podle doby dohasínání.....	15
2.1.3.2	Podle způsobu buzení.....	15
2.1.3.3	Podle chemického složení luminoforu .....	16
2.1.3.3.1	Roztoky luminoforů .....	16
2.1.3.3.2	Práškové luminofory .....	17
2.1.4	Vlastnosti luminiscenčních látek.....	17
2.1.5	Luminiscenční centra .....	17
2.1.6	Organické luminiscenční látky .....	17
2.1.6.1	Elektronové přechody ve složitých organických molekulách .....	18
2.1.6.1.1	Zářivé přechody.....	19
2.1.6.1.2	Nežářivé přechody.....	19
2.1.7	Požadavky kladené na luminiscenční látky a jejich vlastnosti.....	20
2.2	Metodiky nánosu pigmentů .....	21
2.2.1	Barviva a pigmenty .....	21
2.2.2	Klasické pigmenty .....	22
2.2.2.1	Organické pigmenty .....	23
2.2.2.2	Anorganické pigmenty .....	23
2.2.3	Luminiscenční pigmenty .....	24
2.3	Fyzikální vlastnosti pigmentů .....	24
2.3.1	Hustota .....	24
2.3.2	Struktura a jemnost pigmentových částic.....	25
2.3.3	Smáčivost a absorpční schopnost.....	25
2.3.4	Textura .....	25
2.3.5	Barvivost .....	25
2.3.6	Stálost na světle.....	26
2.3.7	Odolnost proti vyšším teplotám .....	26
2.4	Základní výrobní úkony .....	26

2.4.1	Drcení .....	26
2.4.2	Mletí .....	26
2.4.3	Třídění .....	27
2.4.4	Srážení .....	27
2.4.5	Filtrace a odstředování .....	27
2.4.6	Sušení .....	27
2.5	Světlo .....	28
2.5.1	Rychlost šíření elektromagnetického záření .....	29
2.6	Určování fyzikálních parametrů luminiscenčních látek .....	30
2.6.1	Buzení luminiscence .....	30
2.6.2	Měření a doznívání intenzity luminiscence .....	30
2.7	Zadání požadavků KAPATEX s.r.o. ....	30
2.7.1	Představení firmy KAPATEX s.r.o. ....	30
3	Experimentální část .....	32
3.1	Příprava vzorků .....	32
3.1.1	Příze .....	32
3.1.2	Pigment .....	32
3.1.3	Označení použitých vzorků .....	34
3.1.3.1	85 - 0504 Vysoce svítivá žlutá .....	34
3.1.3.2	85 – 0002 Zelená .....	34
3.1.3.3	85 – 0003 Oranžová .....	35
3.2	Barvení přízí .....	35
3.2.1	Postup barvení: .....	35
3.3	Výsledky barvení .....	36
3.4	Měření vyhasínání luminiscence .....	36
3.4.1	Použitá zařízení a přístroje .....	36
3.4.2	Postup měření .....	37
3.4.3	Zpracování naměřených dat .....	38
4	Výsledky vyhasínání luminiscence .....	39
4.1	Vyhasínání luminiscence jednotlivých odstínů s ohledem na koncentraci pigmentu v barvicí lázni a počtem protažení fulárem .....	39
4.1.1	Výsledky .....	39
4.1.2	Diskuze .....	44
4.2	Vyhasínání luminiscence s ohledem na dobu expozice .....	45

4.2.1	Výsledky.....	46
4.2.2	Diskuze.....	48
4.2.3	Intenzita vyzařování vzorku 75 g/l 5x 0,89 bar.....	50
4.2.3.1	Diskuze .....	52
4.3	Vyhasínání luminiscence s ohledem na spektrální distribuci světelné energie použitého osvětlení.....	53
4.3.1	Úprava poměrného spektrálního složení světla pomocí skleněných filtrů.....	53
4.3.2	Výsledky.....	54
4.3.3	Diskuze.....	54
5	Závěr.....	55
	Použitá literatura: .....	57
	Seznam obrázků: .....	59
	Seznam tabulek: .....	60
	Seznam grafů: .....	61
	Příloha č. 1 .....	62
	Příloha č.2 .....	66
	Příloha č.3 .....	71

# 1 Úvod

Luminiscenci, neboli světélkování, můžeme charakterizovat jako jev, při kterém objekt vyzařuje elektromagnetické záření po předchozím dodání energie. Tato energie vzniká jako přebytek nad rovnovážným tepelným zářením. V tomto případě mluvíme o luminiscenci jako o světelném záření vysílaném daným objektem, které není spojeno s teplotou objektu.

Cílem této práce je zpracování poznatků z oblasti luminiscence, použití luminiscenčních materiálů a jejich aplikace na textilie. Obsahuje také studium vyhasínání luminiscence s ohledem na dobu expozice a na spektrální distribuci světelné energie použitého osvětlení.

Práce pojednává o barvení bavlněných přízí a metodách používaných pro barvení luminiscenčními pigmenty. Popisuje rozdíl mezi klasickými a luminiscenčními barvivy a metody jejich nanášení. Pro firmu KAPATEX s.r.o jsou v rámci práce vypracovány vzorky luminiscenčních přízí s různými typy luminiscenčních pigmentů, které by měly být použity na vytkávání do froté ručníků a jiných froté výrobků. Jako reklamní firma by si přála nabídnout svým zákazníkům luxus ve znamení ve tmě světélkujícího loga a sloganu známých firem z oblasti kosmetiky a koupelnových doplňků.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Luminiscence

Termín luminiscence byl zaveden koncem 19.století. Z latinského „lumen = světlo“ tak pojmenovali efekt vyzařovaný fluoritem  $\text{CaF}_2$ . Pro tento příslušný jev se začalo používat slova fosforescence a fluorescence. Fluorescenci můžeme chápat jako světelnou emisi v průběhu působení excitace. Po skončení působení prakticky ihned mizí. Označujeme ji tedy jako emisi světla s „neměřitelně“ krátkou dobou dohasínání. Fosforescenci rozumíme světelnou emisi při dohasínání, pokud její trvání je lidským okem pozorovatelné. Základem jsou elektrony, které jsou excitovány do vyšších energetických stavů, kde dochází k reálné absorpci elektronové excitační energie v látce a postupné transformaci. Přerušením dodávky excitační energie dohasíná luminiscence ještě relativně dlouho. Dolní hranice této doby závisí na použité metodě časově rozlišené spektroskopie.

Z termodynamického hlediska je luminiscence nerovnovážným zářením, kdy je zapotřebí látce dodat nadbytečnou energii oproti energii, kterou si bezprostředně vyměňuje se svým okolím. Následně se tato energie v látce přemění na světelné luminiscenční záření. Tuto energii nazýváme excitační či budící energii. [6]

#### 2.1.1 Historie a současnost luminiscence

Nauka o luminiscenci je vědní obor starý i velmi mladý. Nejstarší zmínky o luminiscenčních látkách (dříve všeobecně nazývány „fosfory“) pocházejí z r.990, kdy se v Japonsku vyráběly z těl ústřic fosforeskující látky, kterými se malovaly obrazy. Podrobnější záznamy o objevu luminiscence pevných látek pak pocházejí z počátku 17.století. Toto období bylo charakterizováno nesystematickým hromaděním faktů. Bylo to období náhodných pozorování, neuspořádaných pokusů a fantastických hypotéz. Ovšem skutečně fyzikální experimentální výzkum vlastností luminiscenčních pochodů nastal až na začátku 20.století. Luminiscenční látky se stávaly důležitými pro rozvoj rentgenové techniky, oscilografie a později i vývojem televizní techniky. Krátce před 2.světovou válkou dosáhly velkého ohlasu v osvětlovací technice. Dodnes však zůstávají některé teorie luminiscenčních látek neobjasněny.

Dnes aniž bychom si to uvědomovali, se setkáváme s luminiscenčními materiály na každém kroku. Ať už jde o elektrotechniku, jako jsou zářivky a televizory v domácnosti, nebo v bezpečnostní osvětlovací technice, kdy jsou za tmy díky odrazu nočních světél zviditelněné výstražné prvky. Zde mluvíme o reflexních prvcích používaných k výstražnému označení na oděvech strážníků, hasičů nebo civilních osob. Dále pak upozorňuje na varovné dopravní značení nebo i únikové východy společenských budov. V neposlední řadě ji nalezneme mezi dětskými hračkami, ať už jako svítící prvky na zdi pokojů, součásti dětských lampiček nebo hraček z tvrzeného plastu. Luminiscence našla široké využití zejména také v optoelektronice (luminiscenční diody, stínítka obrazovek), v lékařství (luminiscenční značky, luminiscenční sondy), v chemii (ke kvantitativnímu a kvalitativnímu určení látek).

[2]



Obrázek č.1 Bezpečnostní luminiscenční tabulky

### 2.1.2 Mechanismus luminiscence

Luminiscence jako určitý druh vyzařování excitovaných systémů probíhá v několika stádiích. Mechanismus luminiscence můžeme rozdělit na dvě fáze. V první fázi jde o předání energie luminoforu a o jeho vybuzení, neboli excitaci, což je převedení některých elektronů do vyšších energetických stavů v důsledku pohlcení určitého kvanta energie. V druhé části jde o předání energie z vybuzeného luminoforu. Tyto dvě stádia mohou být oddělena řadou procesů, probíhajících uvnitř luminiscenční látky. Obecně můžeme mechanismus luminiscence rozdělit na tři etapy:

1. absorpce energie
2. přenos energie
3. vyzáření energie ve formě světelného kvanta

Podle formy energie, která se dostává do luminoforu při jeho excitaci rozeznáváme různé druhy luminiscence.

### 2.1.3 Dělení luminiscenčních dějů

Luminiscenční děje lze obecně rozdělit podle celé řady kritérií. Zmíním pouze tři nejdůležitější.

#### 2.1.3.1 Podle doby dohasínání

Podle **doby dohasínání** luminiscence po skončení buzení luminoforu je historicky nejstarší a úzce se váže na začátky rozvoje celého oboru. Můžeme jej tedy dále rozdělit na:

- fluorescenci – fluorescence je luminiscence během excitace
- fosforescenci – fosforescence je luminiscence po skončení luminiscence
- zpožděnou fluorescenci – stejně jako fluorescence probíhá během excitace, jen má delší dobu dohasínání. [7]

#### 2.1.3.2 Podle způsobu buzení

Podle **způsobu buzení** klasifikujeme luminiscenci jako:

- Fotoluminiscenci - jev, při kterém vyzařuje objekt světlo poté, co byl předtím vystaven záření o kratší vlnové délce. Tuto schopnost zajišťují molekuly zvané luminofoxy.
- Elektroluminiscenci – v tomto případě je světélkování buzeno elektrickým polem. K buzení luminiscence dochází při působení nositelů proudu (elektronů a děr), pohybujících se v elektrickém poli přiloženém na luminiscenční látku. Typickým příkladem mohou být kalkulačky pracující na bázi kapalných krystalů nebo svítící panely v dopravních prostředcích.
- Chemiluminiscenci - doprovází ji určitý typ exotermních chemických reakcí jako uvolněné teplo nebo jeho část, která se vyzáří ve formě světla.
- Katodoluminiscenci - kdy k excitaci elektronů dochází za pomoci jiných elektronů.
- Radioluminiscenci - excitace je zde vyvolávána radioaktivním zářením, neboli ionizovaným proudem částic.
- Mechanoluminiscenci - definujeme jako světlo, převážně jako krátký záblesk, který se ve většině případech uvolňuje při mechanické deformaci pevných látek.
- Rentgenoluminiscenci - sem patří schopnost rentgenu vyvolávat luminiscenci.

- Termoluminiscenci - zde jsou částice zahřívány na několik °C, kdy látku vystavíme ionizujícímu záření. Látka si tuto energii uchová a po zahřátí ji vydá ve formě světla.
- Bioluminiscence - enzymaticky katalyzovaná chemiluminiscence (hlubokomořské a suchozemské organismy).
- Sonoluminiscence - je buzena akustickými nebo ultraakustickými kmity.

Nejrozšířenějším a v praxi nejužívanějším druhem luminiscence je :

- Fotoluminiscence – ta je vyvolávána energií dopadajícího elektromagnetického záření. Podle Stokesova zákona má vybuzené světelné záření vždy větší vlnovou délku (menší energii) než budící záření. Fotoluminiscenci můžeme vyvolat jen výjimečně viditelným světlem, jindy je třeba využít ultrafialového nebo rentgenového záření. Fotoluminiscenční buzení se s úspěchem používá především u látek s malými středními koncentracemi luminiscenčních center, k nimž patří např. některá luminiscenční skla a práškové luminofory. Buzení fotoluminiscence v látkách s velkými koncentracemi luminiscenčních center je málo efektivní, protože vzhledem k malé pronikavosti budícího záření dojde k vybuzení jen úzkých povrchových vrstev luminiscenční látky. [1, 6]

### 2.1.3.3 Podle chemického složení luminoforu

Podle **chemického složení** rozdělujeme luminiscenci na:

- A) organické luminofory – roztoky, krystaly
- B) anorganické luminofory – skla, krystalofosfory

Největší podíl výroby luminiscenčních látek je ve formě práškových materiálů. Dále pak kapalné a tuhé roztoky, monokrystaly, napařované a chemicky vysrážené vrstvy.

#### 2.1.3.3.1 Roztoky luminoforů

Jako luminofory mohou v roztoku fungovat pouze luminiscenční látky s diskretními centry, na které se vážou samostatné molekuly. Na rozpouštědlo, obsažené v roztocích jsou kladeny velké požadavky. Nejen že rozpouštědlo nesmí chemicky ničit luminofor nebo zkracovat jeho životnost, ale očekává se od něj, aby bylo propustné pro excitační záření i pro emitovanou luminiscenci. Mezi nejpoužívanější rozpouštědla patří organické látky typu aromatických uhlovodíků. Jedním z faktorů, který omezuje jas luminoforu v roztoku, je koncentrační zhášení, tj. relativní pokles výtěžku luminiscence s rostoucí koncentrací luminiscenční látky v roztoku.



#### **2.1.3.3.2 Práškové luminofory**

Doposud největší množství luminoforů je připravováno právě ve formě prášku. Důvodem je nejjednodušší výroba a snadné nanášení na materiál v tenkých vrstvách. Z hlediska funkce mají práškové materiály značné nedostatky. Vedle indexu lomu a jakosti povrchu záleží totiž hlavně na velikosti krystalků. Velikost zrn práškového luminoforu je jedním z jejich předních technických parametrů. Součástí výroby práškových luminoforů je tímto úprava velikosti zrn. Ta se pohybuje od zlomku mikronu do několika desítek mikronů (u technicky používaných materiálů je to od 2 až 3  $\mu\text{m}$  do 15 až 20  $\mu\text{m}$  ).

#### **2.1.4 Vlastnosti luminiscenčních látek**

Nositeli luminiscenčních procesů jsou tzv. luminofory (dříve nazývány fosfory). Pojmu luminofory rozumíme jako látky schopné absorbovat energii elektromagnetického záření nebo elektronového záření a přeměnit ji ve viditelné světlo.

Luminofory můžeme rozdělit také podle struktury a to na krystalofosfory a látky s diskretními centry. Krystalofosfory jsou anorganické látky v krystalickém stavu, jejichž luminiscence závisí na určitých poruchách nebo příměsích v krystalu, to znamená, že v jiném než krystalickém stavu se tyto látky luminiscenci nejeví. Naopak u luminiscenčních látek s diskretními centry je luminiscence spojena se samostatnou strukturou určité molekuly nebo její části. Tudíž se budou jevit i v roztoku apod.

Samotná luminiscence není spojována pouze s pevnými látkami. Luminiscence kapalin se může vyskytovat i u polymerizovaných kapalin a kapalin s vysokou viskozitou.

#### **2.1.5 Luminiscenční centra**

Luminiscenční centrum je útvar (molekula, atom nebo porucha, či příměs v krystalu), který je schopen absorbovat (pohlcovat) excitační energii a vyzářit ji pak ve formě světla. Nejdůležitější charakteristikou jsou však energetické stavy elektronů, mezi nimiž nastávají přechody za absorpce a které způsobují luminiscenci. [4]

#### **2.1.6 Organické luminiscenční látky**

Organické luminiscenční látky jsou organické sloučeniny, které po buzení ultrafialovými paprsky vysílají fotony ve viditelné nebo ultrafialové oblasti spektra. Oproti většině anorganických luminiscenčních látek je luminiscence organických látek vlastností, která není spojena s krystalickou vazbou, nýbrž se samotnou molekulou luminiscenční látky.

Nezávisí tedy na tom, jaké skupenství luminiscenční látka má. Přesto mají anorganické a organické luminiscenční látky společné rysy. V obou případech se luminiscence budí tím, že se volný elektron vyzvedne z pásma základního stavu do pásma vzbuzeného stavu. Organické molekuly obsahují navíc rotační a vibrační energii, takže jsou jednotlivá pásma energie rozštěpena na různé hladiny. Určité organické krystaly mají velkou luminiscenční účinnost, která téměř dosahuje hodnoty účinnosti anorganických krystalů. Mají však značně kratší dosvit než anorganické luminiscenční krystaly. V porovnání s anorganickými luminiscenčními krystaly dojdeme k výhodám a nevýhodám organických luminiscenčních krystalů:

Výhody - velká luminiscenční účinnost,

- krátký dosvit:  $< 10^{-7}$  s,
- zanedbatelný vliv teploty,
- silné a rovnoměrné scintilace.

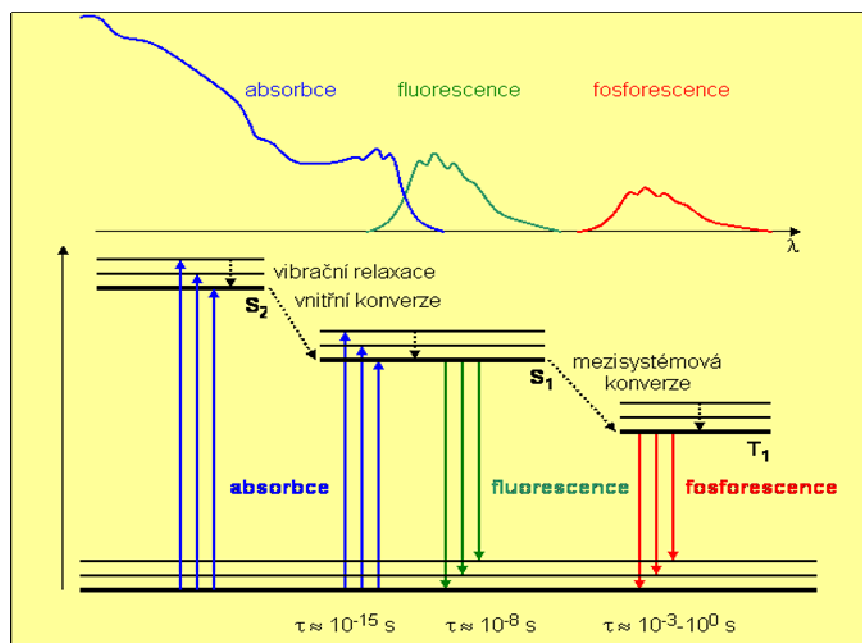
Nevýhody - obtížná a drahá výroba velkých krystalů,

- poměrně velká absorpce emitovaných fotonů a větší rozptyl světla. [2]

### **2.1.6.1 Elektronové přechody ve složitých organických molekulách**

Pro lepší pochopení luminiscenčních vlastností organických látek je důležité znát, jaké elektronové přechody mohou v molekulách probíhat. To srozumitelně nastiňuje Vacek, K.[8] „Složité organické molekuly obsahují velký počet atomů. Jejich optické vlastnosti se principiálně odlišují od optických vlastností jednotlivých atomů, dvouatomových nebo jednoduchých víceatomových molekul. Absorpční spektra těchto látek jsou tvořena zpravidla širokými pásy, které za normálních teplot nemají výraznou strukturu. Ve většině případů sledujeme pouze jeden luminiscenční pás – fluorescenční, v některých případech ale i fosforescenční pás v oblasti delších vlnových délek. Složitou organickou molekulu můžeme považovat za systém mnoha elektronů a atomových jader, který je v dynamické rovnováze. Celková energie molekuly je proto součtem energie elektronového obalu  $E_e$ , dále energie vibračních pohybů jader  $E_v$  a konečně rotační kinetické energie molekuly jako celku  $E_r$ , která je však proti elektronové a vibrační velmi malá a proto ji v luminiscenci můžeme zanedbávat.“

Princip složité molekuly lépe znázorňuje následující schéma energetických stavů:



Obrázek č.2 Zjednodušené schéma zářivých a nezářivých přechodů mezi elektronově vibračními stavy složité molekuly (Jablonski diagram) [10]

Modré šipky na Obrázku č.2 značí přecházení elektronů ze singletního stavu  $S_0$  do excitovaných singletních stavů  $S_1$ ,  $S_2$ , a tripletních stavů  $T_1$ ,  $T_2$ , po absorpci světelného kvanta budícího záření. Právě z těchto rovnovážných vibračních hladin  $S_0$  přejde molekula do některé z vibračních hladin excitovaných stavů. K deexcitaci molekuly dochází buď zářivými přechody, v obrázku jsou značeny zelenými a červenými šipkami, nebo nezářivými přechody, ty jsou znázorněny černými tečkovanými šipkami.

#### 2.1.6.1.1 Zářivé přechody

K zářivým přechodům patří především absorpce, tj. optický přechod z vibrační hladiny základního stavu do některé z vibračních hladin vzbuzeného stavu buď  $S_1$ ,  $S_2$ , ... nebo  $T_1$ ,  $T_2$ . Dále také fluorescence je zářivý přechod, a to z pravidla z nejnižší rovnovážné vibrační hladiny vzbuzeného singletního stavu  $S_1$  do některé z vibračních hladin základního stavu  $S_0$ . Fosforescence, neboli luminiscence s dlouhým dozníváním, je zářivý přechod z vyššího ( $T_1$ ) do energeticky nižšího stavu o rozdílné multiplicitě ( $S_0$ ).

#### 2.1.6.1.2 Nezářivé přechody

Mezi nezářivé přechody počítáme vnitřní konverzi a interkombinační konverzi. Vnitřní konverze je nezářivý přechod ze vzbuzených vibračních hladin na rovnovážnou hladinu

systému o téže multiplicitě. Interkombinační konverze neboli „intersystemcrossing“ je uváděn jako přechod mezi různými systémy lišícími se celkovým spinem. [1, 8, 15]

## **2.1.7 Požadavky kladené na luminiscenční látky a jejich vlastnosti**

### **1. Vhodná luminiscenční barva**

Při zkoušení a výběru luminiscenční látky se musí přihlížet k tomu, pro jaký detektor je luminiscenční látka určena, zda pro fotografickou emulsi, jejíž citlivost je většinou v krátkovlnné oblasti spektra, nebo pro fotoelektrické články, jejichž citlivost se řídí druhem fotoelektrické katody a případně předřazenými filtry, nebo pro lidské oko.

Spektrální poloha pásma, z nichž se skládá luminiscenční světlo lze nejlépe stanovit spektroskopem, nebo spektrografy s přímým pozorováním. Při fotografických měřeních průběhu intenzity pásma je třeba znát spektrální citlivost použitých filtrů. Na spektrální polohu pásma má vliv nejen volba základní látky, ale často i mnoho činitelů při výrobě luminiscenční látky.

### **2. Dobrá světelná účinnost**

Poměr viditelné světelné energie vysílané luminiscenční látkou k množství celkové dodané energie se nazývá světelnou účinností. Tato světelná účinnost je závislá na absolutní intenzitě vyzařování, ale také se zřetelem k citlivosti oka (která je v různých oblastech spektra různě velká) na poloze pásma ve spektru.

### **3. Vhodná doba dosvitu**

Zatímco některé luminiscenční látky dosahují při dopadu elektronového paprsku ve velmi krátké době maximální svítivosti, potřebují jiné luminofoxy k dosažení tohoto maxima pozorovatelnou dobu. Podobně se tyto látky chovají po vypnutí budícího zdroje. V prvním případě se fosforescence téměř okamžitě po vypnutí buzení zmenší na nulu. V druhém případě potřebuje luminofor značný čas (až několik hodin), než světelný jev zmizí. Všeobecně se dobou dosvitu rozumí doba, za kterou se svítivost zmenšila na 10 % případně na 1 % své původní hodnoty.

- 1. skupina s časově exponenciálním průběhem poklesu luminiscence. U těchto luminoforů se svítivost zmenšuje podle vzorce (1):

$$I = I_0 * e^{(-k * t)} \quad (1)$$

- 2. skupina s časově hyperbolickým průběhem poklesu luminiscence. U těchto luminoforů se svítivost zmenšuje podle vztahu (2):

$$I = I_0 * (1 / (1 + \alpha * t))^{\alpha} \quad (2)$$

Průběh dosvitu značně závisí na budících podmínkách (intenzita buzení, druh budícího záření).

#### 4. Malá citlivost na teplotu

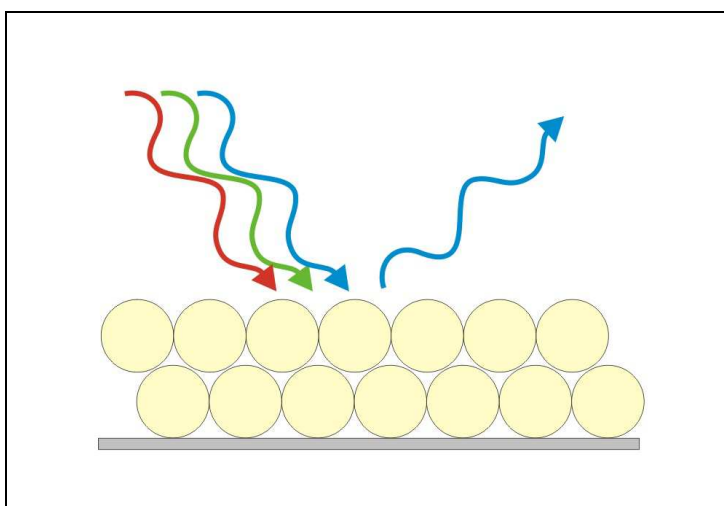
Změna světelné účinnosti luminoforů je až k určité teplotě reverzibilní (zvratná), zmenšuje se se stoupající teplotou. Při velmi nízkých teplotách (pod  $-80^{\circ}\text{C}$  a zvláště při teplotách tekutého vzduchu) se fosforescence zmenšuje a mění někdy úplně svoji barvu. Mezi  $-80^{\circ}\text{C}$  a  $+300^{\circ}\text{C}$  vykazují technické luminofory na bázi  $\text{ZnS}$  a  $\text{ZnSiO}_4$  jen malé změny, ohřátím nad tuto teplotu se fosforescence vesměs značně zmenšuje. [2]

## 2.2 Metodiky nánosu pigmentů

### 2.2.1 Barviva a pigmenty

Barviva jsou typická těmito vlastnostmi: silně absorbují ve viditelné oblasti světla, vykazují afinitu k textilnímu nebo jinému substrátu, dosažená vybarvení vykazují aspoň minimální stálosti. Barviva se při barvení substrátu aplikují z kapalného prostředí, ve kterém jsou zcela nebo částečně rozpustná.

Pigment je materiál, který mění barvu odraženého světla, což je způsobeno selektivním pohlcováním určitých vlnových délek. Výsledná barva je dána spektrem odražených vlnových délek světla (Obrázek č.3).



Obrázek č.3 Vznik barvy odražením specifických vlnových délek světla. Světlo různých vlnových délek (tj. různých barev) dopadá na pigment, který část z nich absorbuje. Výsledná barva je pak dána směsí odražených vlnových délek světla. [19]

Pigmenty mohou být anorganické i organické a v obou skupinách mohou být přírodní i uměle vyráběné (syntetické) materiály. Jde obvykle o velmi jemnozrnné hmoty s velikostí částic od 0,2 do 10  $\mu\text{m}$ . Používají pro výrobu nátěrových barev, barvení textilií, plastů, jídla aj. Tyto pigmenty tvoří samostatnou skupinu pro svou charakteristickou vlastnost nerozpustnosti ve vodě a většinou organických rozpouštědel. Jde o barevné sloučeniny s vysokým absorpčním koeficientem a obvykle s vysokou stálostí na světle, které však nemají žádné solubilizační skupiny. Vlivem své nerozpustnosti principiálně nemohou mít afinitu k textilním vláknům. Jde o standardní aplikace, které jsou založené na upevňování mikročástic pigmentu pomocí pojidel na povrch vláken a běžné je i jejich využití při výrobě vláken barvených ve hmotě polymeru. Od barviv a pigmentů je očekáváno, aby jejich absorpční koeficient měl dostatečnou hodnotu. [3]

### 2.2.2 Klasické pigmenty

Látkami dodávajícími předmětům barvy jsou buď barviva, která jsou rozpustná v pojivech nebo organických rozpouštědlech, a používají se ve formě roztoků, nebo pigmenty, které jsou nerozpustné ve vodě a v pojivech a používají se ve formě suspenze (heterogenní směs pevné látky v kapalině). Z chemického hlediska lze říci, že barviva jsou organické sloučeniny, kdežto mezi pigmenty patří anorganické i organické látky. Ovšem je třeba nezaměňovat oba výše uvedené termíny s pojmem barva, v jehož případě se jedná o pigmentovou nátěrovou hmotu, která se nanáší na předmět. Barvy jsou obvykle tekuté, ale používají se i práškové a jiné. Podle typu rozpouštědla je můžeme dělit na barvy vodové, lihové, olejové, acetonové, temperové, atd. Barevnými komponenty jsou pojivo, ředidlo a aditiva, přičemž aditivity jsou právě barviva a pigmenty. Barevnost látek souvisí se schopností pohlcovat, nebo odrážet světelné paprsky. Látka odrážející paprsky všech vlnových délek viditelné oblasti, má barvu bílou, kdežto látky, které pohlcují jen světlo v některých vlnových délkách, jsou látky barevné.

Schopnost látky pohlcovat světelné paprsky určitých vlnových délek je závislá na struktuře skupiny atomů zvané chromofory. Barvivy se stávají teprve tehdy, pokud obsahují další skupinu atomů zvanou auxochromy. Ty zlepšují přilnavost barvy k materiálu a zvyšují intenzitu zbarvení.

Pigmenty jsou posuzovány podle barvy, odstínu a funkce, kterou plní. Základní pigmenty plní funkci krycí, respektive vybarvovací. Z tohoto hlediska jsou rozděleny na:

1. bílé pigmenty zejména titanová běloba a zinková běloba
2. pestré pigmenty zahrnují všechny ostatní barevné odstíny

### **Bílé pigmenty**

Mezi bílé pigmenty řadíme hlavně běloby, titanovou bělobu ( $\text{TiO}_2$ ), zinkovou bělobu ( $\text{ZnO}$ ), olovnatou bělobu [ $2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ] a barytovou bělobu ( $\text{BaSO}_4$ ). Dále do této skupiny patří přírodní křída ( $\text{CaCO}_3$ ), Litopon (směs  $\text{ZnS}$  a  $\text{BaSO}_4$ ), sádrovec ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), bílé hlinky a hydroxid hlinitý.

### **Pestré pigmenty**

Existuje celá řada pestrých anorganických pigmentů, které můžeme rozdělit do skupin podle zbarvení nebo složení. K nejdůležitějším pestrým pigmentům patří především skupina železitých pigmentů (jejich použití sahá až do pravěku a v dnešní době nachází uplatnění hlavně při výrobě barev, nátěrových hmot a smaltů). Další skupiny představují pigmenty, jejichž základem jsou sloučeniny chromu, olova, kadmia, kobaltu nebo síry. Podle zbarvení je můžeme rozdělit na pigmenty žluté, červené, oranžové, fialové, modré, zelené, černé a hnědé. Od každé skupiny lze vytvořit série odstínů. Černých pigmentů je menší počet, avšak některé z nich (saze) patří objemem své produkce a spotřeby k nejvýznamnějším práškovým materiálům vůbec.

**2.2.2.1 Organické pigmenty** dříve se používaly přírodní, ale v dnešní průmyslové výrobě se používají prakticky jen barviva syntetická. Organické pigmenty se připravují vysrážením organických barviv na anorganickém substrátu.

#### **2.2.2.2 Anorganické pigmenty jsou:**

1. přírodní minerální materiály (grafit, kaolin,...) připravují se mletím, plavením a sušením přírodních materiálů;
2. syntetické saze, chroman olovnatý, oxidy železa atd., pro jejich přípravu používáme chemických postupů (srážení z vodných roztoků, tepelný rozklad atd);
3. kovové hliník, měď a některé slitiny.

Anorganické pigmenty mají dobré krycí vlastnosti a vysokou teplotní stálost, ale v porovnání s organickými pigmenty mají menší barvicí sílu a nemají takovou škálu odstínů. Z těchto důvodů mají mnohem větší uplatnění použití organické pigmenty než anorganické. Výjimku tvoří běloby (zejména titanová a zinková), které svými vlastnostmi předčí běloby organické. Anorganické pigmenty své uplatnění nachází hlavně při výrobě nátěrových hmot, vybarvování plastů, syntetických vláken a gumy. Uplatňují se také při výrobě papíru, skla a keramiky. V neposlední řadě je nacházíme v barevné vrstvě nástěnných maleb, polychromových plastik a iluminací rukopisů na papíře atd.

Většina bílých pigmentů absorbuje světlo jen velmi málo, protože zrna, která je tvoří, jsou prakticky bezbarvá. Proto o jejich krycí schopnosti rozhoduje kromě síly absorpce

i vzdálenost mezi zrna, jejich tvar a strukturní charakter (krystalické částčky mají větší schopnost odrazu světla než amorfni). Pro docílení maximální kryvosti existuje tzv. optimální velikost zrn. Mletím lze kryvost bílých pigmentů zvyšovat až do dosažení optimální velikosti, kdy by už další mletí mohlo vést ke zmenšení krycí schopnosti. Další důležitou vlastností bílých pigmentů je jejich vyjasňovací schopnost, což je schopnost měnit (zesvětlovat) barevný odstín jinak zbarveného pigmentu.

### **2.2.3 Luminiscenční pigmenty**

Luminiscenční pigmenty patří do skupiny barviv se speciálními vlastnostmi, konkrétněji je můžeme charakterizovat jako sloučeniny měnící barvu vnějším podnětem. Podstatou těchto barviv je pohlcení fotonu barvivem a jeho následné vyzáření z molekuly. V souladu s prvním Stokesovým zákonem je energie vyzářeného fotonu menší než světlo pohlcené. Zbytek energie je v podobě tepla předán do okolí. Výjimkou Stokesova zákona mohou být barviva, která absorbují infračervené světlo a emitují ho jako světlo viditelné. [3]

#### **Fotoluminiscenční pigmenty**

Známé také jako luminiscenční, fluoreskující, fosforové, svítící, světélkující atd. Jedná se o práškové pigmenty, které za denního světla absorbují světlo a v noci či na temném místě pak mění svoji barvu se zářivě svítícím efektem. Koncentrovaný fotoluminiscenční pigment se vyrábí v několika barevných odstínech a používá se v různých koncentracích v závislosti na požadovaném jasu a délce trvání svítícího efektu. Doba svítícího efektu až 10 hodin. Fotoluminiscenční pigmenty jsou zdravotně nezávadné, neobsahují žádné radioaktivní látky, nejsou toxické ani jedovaté, nerozkládají se a odpad či látka samá není nebezpečná vůči zdraví či životnímu prostředí.

## **2.3 Fyzikální vlastnosti pigmentů**

### **2.3.1 Hustota**

Hustota neboli specifická váha je důležitým ukazatelem použitelnosti těchto pigmentů. Je důležitou konstantou pro posouzení druhu a čistoty zkoušeného pigmentu. Hustotu organických pigmentů se pohybuje od 1,3 do 1,9  $\mu$ . Pro stanovení hustoty pigmentů se používá kapalin, které pigment dobře smáčí a zároveň se v něm nerozpouštějí. Objem vytlačené kapaliny se rovná objemu odváženého množství pigmentů.



### 2.3.2 Struktura a jemnost pigmentových částic

Strukturou můžeme rozumět vše, co vystihuje tvar částic pigmentu. Struktura je dána především jeho krystalickou formou, deformací jednotlivých krystalků a stupněm jejich shlukování. Krystalické pigmenty se mohou intenzivním rozmělněním značně deformovat a přijít tak do stavu, ve kterém se jejich původní krystalická struktura při mikroskopickém určení ztrácí. Velikost částic pod  $0,4\ \mu$  již ztrácejí kryvost, a tím se vzdalují od spodní hranice viditelných délek. Pro optimální vhodnost platí dolní a horní hranice od  $0,5\ \mu$  do  $3\ \mu$ . Pro stanovení jemnosti pigmentů se používá nejrůznějších metod, které můžeme rozdělit do dvou skupin. Buď stanovujeme průměrnou velikost částic, která se vypočte metodou zjišťující specifický povrch pigmentů nebo jednodušším stanovením distribuce velikosti částic, jako je proséváním.

### 2.3.3 Smáčivost a absorpční schopnost

Smáčivost pigmentů je vlastnost vyjadřující afinitu k danému kapalnému prostředí. Závisí na ní disperzní schopnost pigmentu a stabilita vzniklé disperze.

**Hydrofilní** - jsou to pigmenty vodou smáčivé. Patří mezi ně anorganické pigmenty kyslíkaté a pigmenty kyslíkatých kyselin.

**Hydrofobní** - tyto pigmenty jsou smáčivé nepolárními kapalinami. Patří mezi ně saze, grafit a většina organických pigmentů. Mechanismus smáčení spočívá ve větším nebo menším vytěsnění původní adsorbované vrstvy vlhkosti a vzduchu na povrchu pigmentu kapalným pojídlem a ve vytvoření nové vrstvy, která se bude skládat z příslušně orientovaných molekul.

### 2.3.4 Textura

Vlastností textury pigmentů rozumíme jejich tvrdost bez zřetele na jemnost, tj. k velikosti částic. Pigmenty s měkkou strukturou jsou na omak hebké až kluzké. Naopak u tvrdé textury se projeví drsnost a schopnost obrušovat i tvrdé kovy.

### 2.3.5 Barvivost

Barvivost pigmentu je schopnost zbarveného pigmentu změnit jinak barevný odstín. Při stanovení barvivosti se zjišťuje množství zkoušeného pigmentu, potřebné k dosažení požadované úpravy barevného odstínu. Barvivost pigmentu je tím větší, čím větší změny se dosáhne u jinak zbarveného odstínu. Zkoušení barvivosti má velký význam při kontrole výroby bílých i pestrých pigmentů, neboť zjištěné hodnoty jsou také měřítkem pro dosaženou

velikost částic. Při hodnocení barvivosti se musí uvést, jaké metody bylo použito, protože u každé z metod se vyjadřují výsledky v jiných poměrných číslech.

### **2.3.6 Stálost na světle**

Nejvíce u pestrých pigmentů můžeme pozorovat změny barevného odstínu, způsobené účinkem světelného záření. Můžou se projevovat blednutím, zesvětlením, zmenšením sytosti, nebo i ztmavěním. Podstatou těchto změn barevných odstínů jsou hlavně chemické, ale i někdy fyzické pochody. Ty jsou způsobovány a urychlovány účinkem viditelných i neviditelných paprsků. Pohlcování viditelných a neviditelných paprsků je závislé na povaze pigmentů. Čím méně světla pigment propouští, tím méně je účinkem světla rozrušováno disperzní prostředí, ve kterém jsou pigmenty rozloženy.

### **2.3.7 Odolnost proti vyšším teplotám**

Zvýšená teplota může vyvolat reakce, jaké za normálních podmínek neprobíhají, jako např. rozkladné procesy. Organické pigmenty jsou všeobecně méně stálé proti vyšším teplotám. Většina z nich se rozkládají již při 120° C. Nestálost proti vyšším teplotám se u organických pigmentů projevuje nejen změnou barevného odstínu, ale i vytěsňováním z dispergujícího prostředí. [9]

## **2.4 Základní výrobní úkony**

### **2.4.1 Drcení**

Většina minerálů a hornin se drtí nahrubo mechanicky. Používá se k tomu úderové, čelistové, kolíkové, kladivové a jiné drtící přístroje a desintegrátory. Celý princip drcení spočívá v tom, že materiál přichází ve stroji vždy mezi jeden pohyblivý a druhý nepohyblivý článek, a tím se rozmělnňuje. Jednotlivé typy strojů se od sebe liší jen konstrukcí. Průměrná velikost rozmělněných částic je větší než 1mm.

### **2.4.2 Mletí**

Dále se zmenšení zrna dosáhne tím, že použijeme přístroj na mletí částic. Všeobecně rozdělujeme velikost částic na tři stupně jemnosti pigmentů:

- |                   |                           |
|-------------------|---------------------------|
| - hrubé částice   | s velikostí nad 60 $\mu$  |
| - střední částice | s velikostí 10 – 60 $\mu$ |
| - jemné částice   | s velikostí pod 10 $\mu$  |

Nejčastěji je požadována jemnost pod 10  $\mu$ , ovšem za optimální se považuje 0,5 – 3  $\mu$ . Mletí se provádí dvěma způsoby, buď za sucha nebo za mokra. Jedním ze způsobů mletím za sucha je pulverizace, neboli práškování. Materiál prochází v mlecích strojích velmi úzkou štěrbinou mezi mlecími články, kde za pomoci tlaku a třením dosáhneme požadované jemnosti částic.

Mezi mletí za mokra můžeme zařadit mikronizaci, kdy se do válcového prostoru tryskami po jeho obvodu vhání vysokotlaká pára. Pára tak vrhá částice pigmentů velkou silou proti soustavě kovových překážek, umístěných ve válci, čímž dojde k rozmělnění částic. Můžeme tak dosáhnout velikosti částic menších než 0,5  $\mu$ .

### **2.4.3 Třídění**

Třídění je způsob oddělení hrubých částic od jemnějších. Provádí se plavením, kdy hrubé částice sedimentují a jemně suspendované částice jsou odplavovány proudem vody, nebo vzdušným tříděním za použití proudu vzduchu, který vytřídí jemné částice od hrubých. Dále pak jemné částice můžeme prosévat různě hustými sítý, a tím docílit oddělení různě velkých částic. Síta jsou buď plošná, natřásací nebo bubnová otáčivá.

### **2.4.4 Srážení**

Srážení je založeno na vylučování nového chemického individua, jež vzniklo vzájemným působením dvou nebo více látek rozpuštěných ve vodě. Ve složitějších případech dochází ke srážení dvou látek různé nebo i shodné krystalické struktury. Pro srážení se používá dřevěných nebo kameninových kádí opatřených míchadly, nebo ocelových, poloolovených nádob.

### **2.4.5 Filtrace a odstředování**

Při této operaci dochází k oddělování usazenin nebo sraženin od vodné fáze. K filtraci tlakem se používá kalolisů, tlakových filtrů, nebo otáčivých bubnových filtrů. V bubnech se tak oddělují hrubě krystalické látky, kdežto v odstředivkách s jemným pláštěm se oddělují jemné tuhé suspenze od kapalné fáze.

### **2.4.6 Sušení**

Tento proces na výrobu některých pigmentů je náročnější a vyžaduje zvláštní pozornost a péči. Při příliš rychlému sušení za vysoké teploty může docházet ke spékání shluků nebo k barevným změnám. Proto se pigmenty doporučují sušit zvolna a při mírné

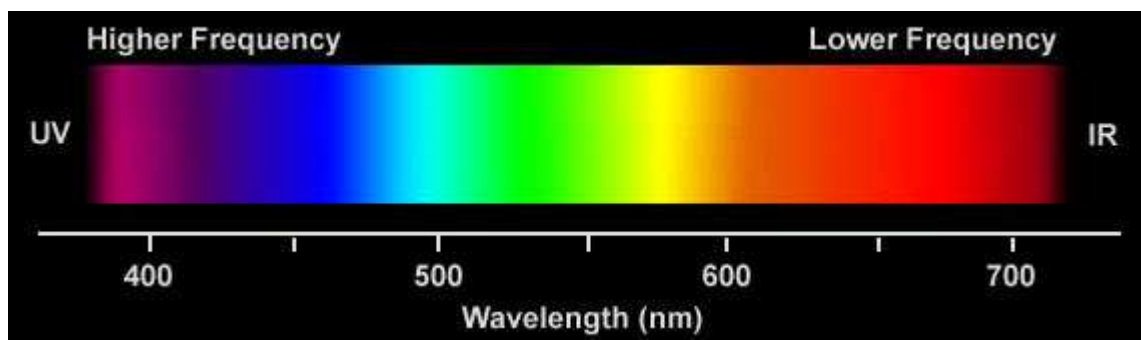
teplotě. Nejčastěji se používá protiproudové sušení a při současném natřásáním či přehrabováním se tak dosáhne účinnějšího stejnoměrného prosoušení. Sušárny mohou být komorové s přerušovaným plněním nebo tunelové s nepřetržitým provozem. [9]

## 2.5 Světlo

Světlo je v podstatě elektromagnetické záření, vnímané lidským okem. Jedná se o elektromagnetické záření s vlnovou délkou v rozmezí cca 380 až 770 nm, které je lidským okem vnímáno jako viditelné světlo. Bílé světlo je přitom kombinací různých vlnových délek světla ve viditelné části elektromagnetického vlnění.

Celý systém můžeme vysvětlit jako „dopadající denní světlo, jevící se jako bílé, které má už všechny barvy v sobě. Pokud dopadne na bílý předmět, je beze změny odraženo. Pokud dopadne na černý předmět, je pohlceno a mění se na tepelnou energii. V případě žlutého předmětu dojde k tomu, že se část světla pohltí a část odrazí. Pohlcena bude modrá oblast spektra, čímž získá odražené světlo žlutou barvu.

Tento jev je přímo zodpovědný za problémy s umělými zdroji osvětlení. Aby totiž konkrétní barva vypadala tak, jak jsme na ni zvyklí za denního světla, musí světlo z umělého zdroje obsahovat úplně všechny vlnové délky, které mají být po správnosti odraženy. Ty, co mají být pohlceny, už samozřejmě obsahovat nemusí. V závislosti na typu světelného zdroje mohou být některé vlnové délky zcela vynechány. Zdroj pak vyzařuje nespojité spektrum a dochází ke zkreslení barev. V případě sodíkové výbojky, používané v některých typech veřejného osvětlení, jsou skutečné barvy předmětů téměř nerozeznatelné. Důvod je zcela zřejmý - aby mohl mít předmět svoji přirozenou barvu, musí být tato barva obsažena ve světle, které světelný zdroj vysílá. Takže v modrém světle budou žluté předměty černé a naopak - ve žlutém světle zčernají ty modré.“ (Paďour, J.: *Barvy*.) [18]



Obrázek č. 4 Spojité spektrum viditelného světla

[18]

Hned vedle viditelného světla se nachází ultrafialové (UV), směrem do kratších vlnových délek, a infračervené záření (IR), směrem do delších délek. Přestože lidé nevidí infračervené záření, mohou blízké infračervené záření cítit jako teplo svými receptory v pokožce. Infračervené záření zaujímá oblast mezi nejkratšími radiovými vlnami a světlem. Zdrojem infračerveného záření jsou tělesa zahřátá na vysokou teplotu.

Ultrafialové záření (UV) - jeho název je odvozen z toho, že jeho vlnová délka leží nad (ultra = nad) fialovým světlem, tj. má kratší vlnovou délku. Zdrojem UV záření na povrchu země je především sluneční záření. UV záření vlnových délek kratších než 200 nm je absorbováno vzduchem za vzniku ozónu. Zbývající spektrální oblast dělíme podle biologických účinků na 3 dílčí oblasti:

- UVA o vlnových délkách 315 - 400 nm
- UVB o vlnových délkách 280 - 315 nm
- UVC o vlnových délkách 200 - 280 nm.

Ultrafialové záření je závislé na nadmořské výšce – každých tisíc metrů stoupá jeho množství o 15 %. Jeho výskyt ovlivňuje také roční období, denní doba a geografická šířka. Čím výše stojí slunce na obloze, tím více dopadá UV záření na Zemi. Toto záření závisí na odrazivosti plochy, na kterou dopadá. Mraky nejsou překážkou proniknutí UV záření.

### 2.5.1 Rychlost šíření elektromagnetického záření

Elektromagnetické záření se může pohybovat nejvyšší známou rychlostí vůbec - rychlostí světla (299 792 458 metrů za sekundu). Této rychlosti dosahuje pouze ve vakuu, kdy není brzděno odporem prostředí. V ostatních látkových prostředích se šíří světlo pomaleji, např. ve vodě už dosahuje něco málo přes 225 000 000 m/s.

**Rychlost světla** ve vakuu označujeme písmenem  $c$  a je velmi důležitou veličinou, bez které se neobejdeme v moderní astronomii a kosmologii. Je to mezní rychlost pro všechny tělesa a záření. Vlnová délka  $\lambda$  je vzdálenost mezi odpovídajícími si body sinusoidy a udává se v nm (nanometrech).

kde:

$$c = f * \lambda$$

$\lambda$  ..... vlnová délka (nm)

$f$  ..... frekvence (Hz)

$c$  ..... rychlost světla (m/s)

„To jediné, čím se jednotlivé druhy elektromagnetického záření od sebe liší, je množství přenášené energie. Nejméně energie přenášejí rádiové vlny, nejvíce paprsky gama nebo kosmické záření.“ (Paďour, J.: *Barvy*.) [18]

## **2.6 Určování fyzikálních parametrů luminiscenčních látek**

K buzení různých druhů luminiscence, k měření intenzity luminiscence a doznívání luminiscence se používají různé druhy experimentálních zařízení.

### **2.6.1 Buzení luminiscence**

K buzení luminiscence se používají rtuťové výbojky. Jako zdroje ultrafialového záření se používají nejvíce pro buzení luminiscence v osvětlovací technice. Použitím dvou zkřížených polarizačních filtrů v daném uspořádání můžeme zajistit nežádoucí odražené a rozptýlené ultrafialové záření, které naprosto ovlivňuje výsledky luminiscenčních měření. Proto je nutno použít monochromatické záření, skládající se z příslušných optických filtrů nebo monochromátoru s odrazovou mřížkou nebo křemičitým hranolem jako disperzním prvkem.

### **2.6.2 Měření a doznívání intenzity luminiscence**

Měření intenzity luminiscence je velice složité. Vysoké nároky na přesnost uspořádání experimentu, na citlivost a spolehlivost použitého zařízení komplikují absolutní měření svítivosti. Výsledky tohoto měření jsou ovlivňovány především spektrální citlivostí použitého detektoru, kvalitou vzorku nebo geometrickém uspořádáním experimentu. Musíme zajistit takové podmínky, aby se dané geometrické uspořádání pokusu neměnilo. [1]

## **2.7 Zadání požadavků KAPATEX s.r.o**

Pro firmu KAPATEX s.r.o je v práci vypracován vzorek luminiscenční příze, který bude použit na vetkávání do froté ručníků a jiných froté výrobků. Jako reklamní firma by si přála nabídnout svým zákazníkům luxus ve znamení ve tmě světélkujícího loga a sloganu známých firem z oblasti kosmetiky a koupelnových doplňků.

### **2.7.1 Představení firmy KAPATEX s.r.o**

Společnost Kapatex založili v dubnu roku 1996 dva partneři, Pavel Janeba a Jan Rosenkranz, jako reakci na zájem o vyšívání loga. Původní nabídka vyšívaných jmen na ručníky a osušky se rychle rozrostla o další motivy, výrobky, ale především o silné zázemí ve froté zboží. Období hledání ukončila smlouva o spolupráci a zastoupení v regionu Východní Evropy s výrobním závodem. Výroba, balení a „silný“ sklad jsou hlavní argumenty, proč právě s Kapatexem spolupracuje tolik společností a agentur.

Trh Východní Evropy zásobuje froté zbožím přímo z výrobního závodu, jehož jsou výhradním distributorem. Jejich sklad disponuje pohotovostní zásobou výrobků, která je schopna uspokojit téměř každou poptávku. Vetkávání, plastická výšivka, tisk, rozměry a barevnosti na zakázku, vzorované bordury. To vše jsou schopni vyrobit a dodat. Specialitou jejich společnosti je výroba a prodej dárkových vyšívavých froté ručníků. V tomto oboru jsou vedoucí firmou na tuzemském trhu. Dodávají více než 500 maloobchodním prodejnám a řetězcům po celé republice. Jejich nabídka se rozrostla z původních froté ručníků se jmény na celou rodinu dárkových froté ručníků. Série výrobků (župany, žínky, pantofle, tašky, osušky...) jsou vhodné pro prodejny, obchody, bytový textil nebo koncovým zákazníkům k reklamním nebo marketingovým účelům.

### 3 Experimentální část

Experimentální část se zabývá popisem použitých vzorků příze pro experiment, popisem luminiscenčních pigmentů pro barvení a popisem použitého zařízení pro měření vyhasínání luminiscence. Dále je zde popsán průběh experimentu, zpracování dat a dosažené výsledky měření.

Bude provedena studie vyhasínání luminiscence s ohledem na:

1. koncentraci pigmentu v barvicí lázni a počtem protažení fulárem
2. dobu expozice
3. spektrální distribuci světelné energie použitého osvětlení

#### 3.1 Příprava vzorků

Pro experimentální část dodala firma KAPATEX s.r.o. cívku bavlněné neupravované příze, která je určena pro barvení luminiscenčními přípravky. Bude na ní testována intenzita vyzařování luminiscence podle určitého složení lázně a to s 50 g, 75 g a 100 g luminiscenčního pigmentu tří odstínů (vysoce svítivý žlutý, zelený, oranžový) na 1litr záhustky. Následně budou vzorky vyhodnoceny mezi sebou a bude vybrán nejlepší výsledný vzorek k dalšímu testování.

##### 3.1.1 Příze

Příze je 100% bavlněná, jednoduchá s levostranných zákrutem, s jemností 35,6 tex, bez úprav či ošetření.

##### 3.1.2 Pigment

Firma dodávající pigment **Shandong Lunbo Luminous Products Co.,Ltd**, o pigmentech uvádí: „Našimi hlavními produkty jsou vzácné zeminy, aktivizační alkalické zeminy, hlinitan-silikátový fotoluminiscenční pigment. Tyto pigmenty mají dlouhou účinnost a jsou to materiály šetrné k životnímu prostředí. Fotoluminiscenční pigment je světle žlutý prášek, který se změní na zelenou barvu poté, co byl nasvícen světlem. Čím menší je velikost částic, tím nižší má svítivost. V porovnání s jinými pigmenty, se fotoluminiscenční pigment snadno a široce používá v mnoha oblastech. Má vysokou počáteční svítivost, dlouhou dobu dosvitu (test podle normy DIN67510, jeho dosvit čas 10000 minut). Jeho světlo je odolné proti stárnutí a nese určitou chemickou stabilitu. Jedná se o nový typ ekologicky



fotoluminiscenčního pigmentu se znaky netoxicity, bez radioaktivity, nehořlavosti a nevýbušnosti. Ten může být použit pro mnoho průhledných nebo průsvitných médií, jako jsou plasty, barvy, glazury, sklo, tisk nebo na výrobu světelných produktů. S dobrým uvedením a zvýrazňujícími účinky ve tmě. Může být široce používán pro nouzové značení, spínače, smalt štítky, dopravní značky, hračky, ruční práce, hodiny, textilní vybavení hasičů a armády atd.“ [11]

Fotoluminiscenční směs Permalight se skládá ze zinko-sulfidových, resp. hlinito-stronciových krystalů, které se získají při vysokoteplotním procesu. Tato směs odolává vodě a alkalickým roztokům. Působí-li ultrafialové paprsky a vlhkost současně, může to vést k šednutí tzn. srážení zinku na povrchu krystalů. Krystalový pigment je proto opatřen ochranným povlakem. Teplotám nad 600°C je možno odolat pouze po krátkou dobu. Je použita technika zpracování obsahující značné množství tepla. Následné zpracování fotoluminiscenční směsi, která je dodávána a skladována v ochranných obalech, poskytuje okamžitou ochranu proti chemickým a fyzickým účinkům. Velmi mírně matové nebo průhledné substrátové materiály, jako např. syntetické pryskyřice, plasty, barvy, smalty atd. obklopují a chrání pigmenty fotoluminiscenční směsi nesmírně účinně.

Dlouhodobá fotoluminiscenční směs je známa pro svůj jas a dobu fotoluminiscence. Po překvapivě krátké stimulační době klesá svítivý účinek stále pomaleji s časem. Fotoluminiscenční směs Permalight nemá radioaktivních přísad a je toxikologicky neškodná. Fotoluminiscenční účinek Permalightové směsi leží v žluto-zelené části spektra v bodě, ve kterém je oko nejcitlivější po nejdelší čas v naprosté tmě. Žlutavě zelený fotoluminiscenční účinek Permalightových pigmentů umožňuje lidskému oku přizpůsobit maximální citlivost k rozpoznání velmi jemných nebo bledých kontur.

Hustota se pohybuje přibližně okolo 3.4g/cm<sup>3</sup>. Komponenty chemického složení jsou: Sr Al<sub>2</sub> O<sub>4</sub>.

Tabulka č.1 obsahuje vlastnosti uváděné firmou Nemoto Japonsko, která vyrábí novou řadu luminiscenčních pigmentů *Luminova*®, svítících ve tmě, na základě oxidu strontnatohlinitého. Tím se výrazně liší od běžných fosforeskujících barviv, jako např. sirníku zinku nebo radioizotopů. Iluminační stroncium svítí 10krát jasněji a 10krát déle než barviva založené na bázi sirníku.

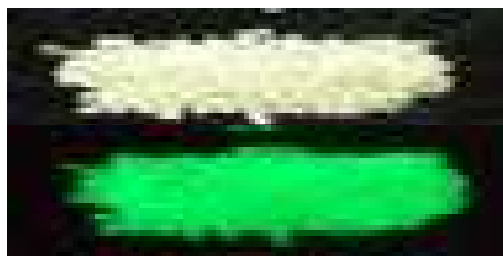
<b><u>Odstíny barviv</u></b> <b>vlastnosti</b>	<b>Zelené barvivo</b>	<b>Modrozelené barvivo</b>	<b>Klasické fosforeskující barvivo</b>
<b>Chemická identita</b>	$\text{Sr Al}_2 \text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ Oxid strontnato-hlinitý	$\text{Sr Al}_2 \text{O}_4:\text{Dy}^{3+}$ Oxid strontnato-hlinitý	$\text{ZnS}$ Sulfid zinečnatý
<b>Barva pigmentu</b>	světle žlutavě zelená	světle žlutozelená	žlutozelená
<b>Velikost částic</b>	10 – 40mm	10 – 40mm	20 – 40mm
<b>Excitační energie</b>	200 – 450nm	200 – 450nm	200 – 450nm
<b>Emisní vlnová délka</b>	520nm	480nm	530nm
<b>Vyhasnutí jasu</b>	$300\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}$	$300\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}$	$20 - 30\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}$
<b>Zánik dosvitu</b>	2000min	30min	4min
<b>Čas buzení</b>	30min	30min	4min
<b>Chemická stabilita</b>	velmi dobrá	s výjimkou vody velmi dobrá	mizerná až dobrá
<b>Měrná hmotnost</b>	$3,6 \text{ kg/m}^3$	$3,9 \text{ kg/m}^3$	$4,1 \text{ kg/m}^3$

Tabulka č.1 Vlastnosti pigmentů řady *Luminova* ®

[20]

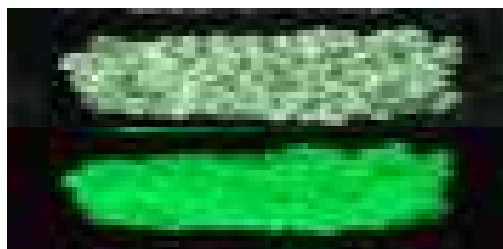
### 3.1.3 Označení použitých vzorků

#### 3.1.3.1 85 - 0504 Vysoce svítivá žlutá



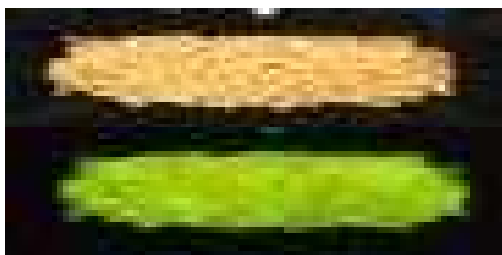
Obrázek č.5 Vysoce svítivý žlutý pigment

#### 3.1.3.2 85 – 0002 Zelená



Obrázek č.6 Zelený pigment

### 3.1.3.3 85 – 0003 Oranžová



Obrázek č.7 Oranžový pigment

## 3.2 Barvení přízí

Barvení probíhalo v chemické laboratoři, v podmínkách s kontrolou teploty a vlhkosti v místnosti s odvětráváním. Příze byla barvena na fuláru, dále pak zafixována ve vzduchové sušičce při teplotě 120 °C a uschována proti poškození či osvětlení. Následně byla příze zpracována na pletacím stroji v pletárně na TUL na katedře textilních technologií pod dozorem Ing. Syrovátkové, a tím tak byla připravena k experimentálnímu měření.



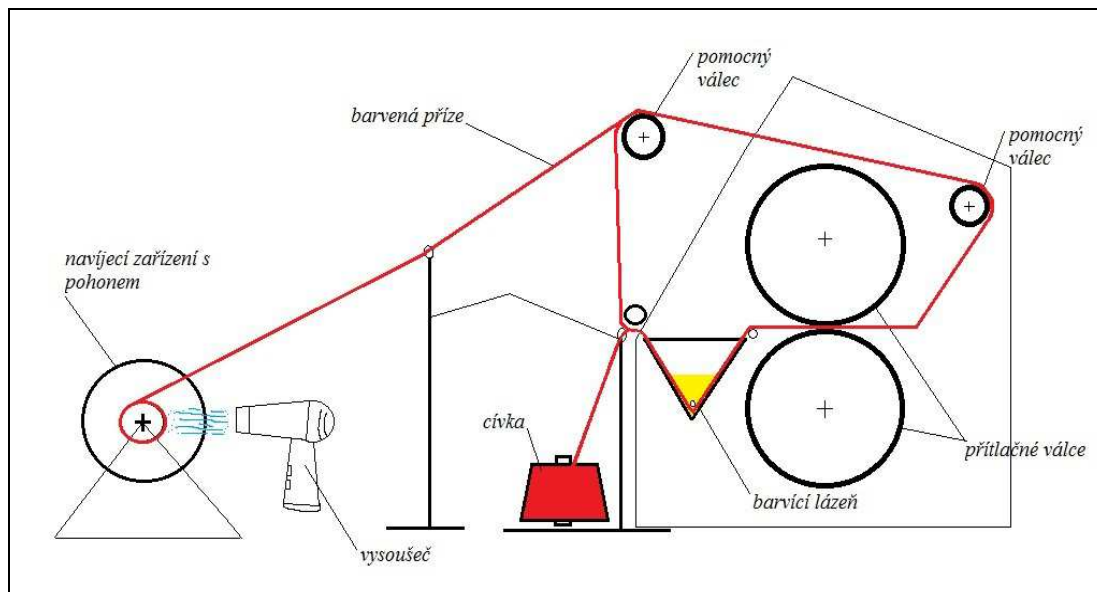
Obrázek č.8 Fulár

### 3.2.1 Postup barvení:

Příze byla odvíjena z cívky přes vedení k barvicí lázni, kde se na ni natahovalo barvivo s pigmentem, dále byla vedena mezi přítlačné ždímací válce, které přebytečné barvivo odμάčkly. Dále příze pokračovala přes vodící válečky zpět do barvicí lázně. Tento úkon se opakoval ještě 4krát. Celkové protažení barvicí lázní prošla příze 5krát, aby bylo dosaženo optimálního nanesení pigmentu na přízi. Po všech protaženích lázní příze pokračovala přes vodič k návinu příze při současném zasoušení ručním vysoušečem. Toto množství příze bylo následně převinuto na kovovou cívku a zasušeno ve vzduchové sušičce při 120 °C.

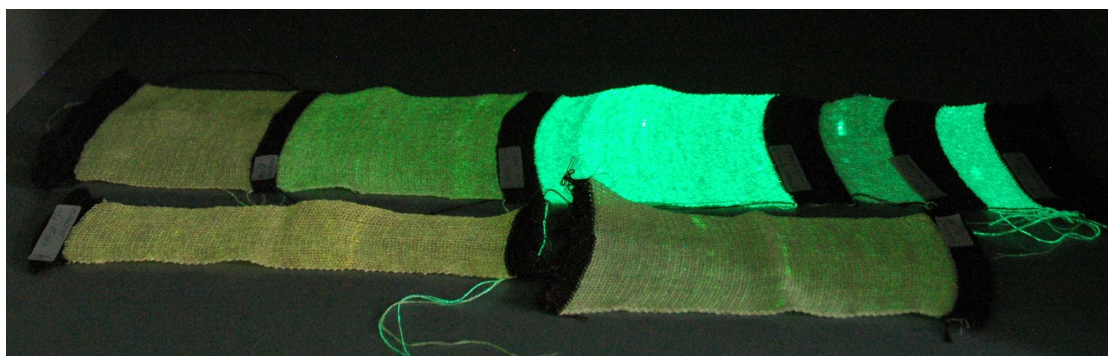
Fulár protahoval přízi rychlostí 0,5m/min za přítlaku 0,89bar u příze s nízkým přítlakem, u příze s větším přítlakem byl fulár nastaven na 1,1bar se stejnou rychlostí. Navíječ

příze byl nastaven na stejnou rychlost navíjení jako fulár, takže nedocházelo k prověšování příze a jejímu otírání jak o konstrukci fuláru, tak ani o přidavné válečky přístroje.



Obrázek č.9 Schéma experimentální linky pro nános pigmentů

### 3.3 Výsledky barvení



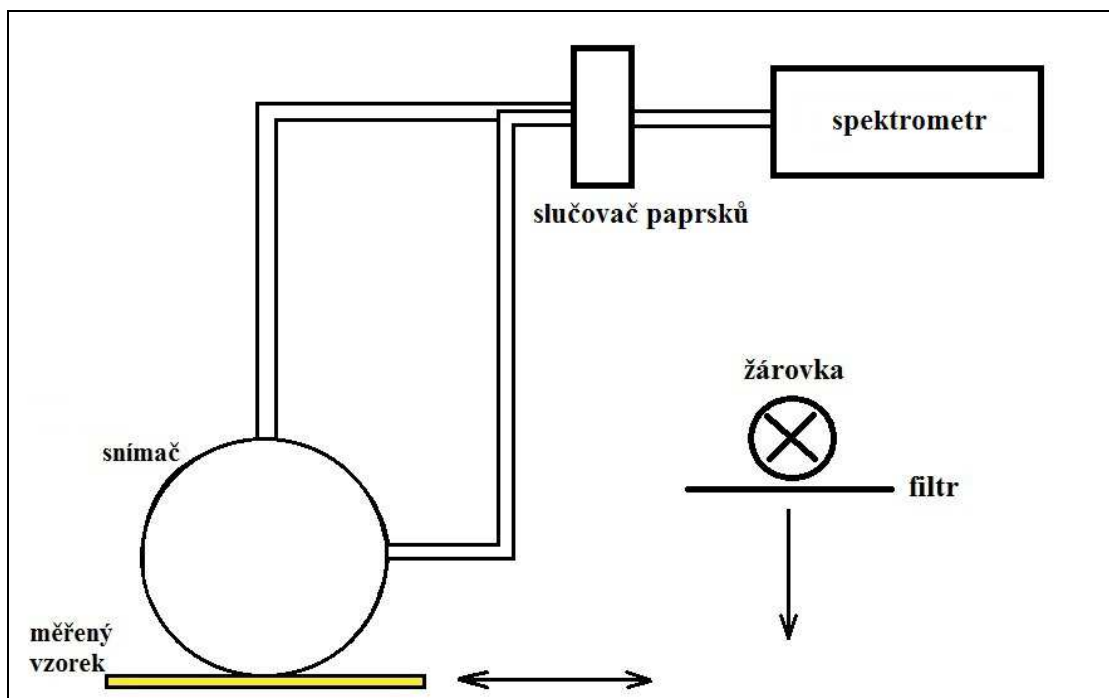
Obrázek č.10 Porovnání jednotlivých odstínů a koncentrace luminiscenčních přízí

### 3.4 Měření vyhasínání luminiscence

#### 3.4.1 Použitá zařízení a přístroje

Pro osvětlení vzorků byl použit přístroj Lumos 2004 od firmy Arsenal s.r.o, který má rozsah  $\lambda = 350 - 1100$  nm. Jde o halogenovou zářivku, která vyzařuje i UV záření. Schéma měření vyhasínání luminiscence jednotlivých vzorků je na Obrázku č.13, kde ihned po nasvícení vzorků byl jako snímač použit světelný integrátor opatřený snímači přímé a difúzní emise. Průměr integrační koule byl 30 mm, velikost průměru měřící apertury 5 mm. Jako snímací systém byl použit CCD spektrometr firmy Avantes USB2000, který byl

propojen s integrační koulí pomocí bifurkálních optických kabelů o průměru 600  $\mu$ . Použitá optická vlákna byla upravena proti tzv. solarizaci, což je efekt přirozeného poklesu světelné propustnosti optických vláken pro vlnové délky menší než 360 nm. Spektrometr Avantes USB2000 byl napojen na měřicí software firmy Options OOI Base, pomocí kterého byl proveden časový záznam naměřených emisních spekter.



Obrázek č.11 Schéma měření vyhasínání luminiscence

### 3.4.2 Postup měření

V rámci experimentu byly zvoleny 3 excitační časy - 1, 5 a 10 minut. Následně byl vzorek okamžitě přesunut k měřicí hlavici. Tento postup byl zvolen z konstrukčních důvodů, neboť vlivem malých aperturních otvorů použitého integrátoru nebyla intenzita přímého osvětlení dostatečná. Z tohoto důvodu byl použit intenzivní světelný zdroj jako expoziční systém nezávislý na systému měřícím. Na základě dostupných osvitových systémů, které byly v čase provádění experimentálních prací na KTC k dispozici byl jako osvětlovací systém použit osvětlovač pro světelnou mikroskopii Lumos 2004 od firmy Avantes s.r.o. Přičemž experimentální zkouškou bylo zjištěno, že vyšších hodnot svítivosti měřených vzorků bylo dosahováno při použití modrého filtru, který je dodáván s tímto osvětlovačem pro korekci barevného podání světelného zdroje. Vzhledem k tomu, že intenzita světla bez zařazeného korekčního filtru je vyšší než intenzita světla korigovaného, vyvolal tento výsledek potřebu experimentálně ověřit citlivost připravených vzorků na spektrální složení excitačního

osvětlení. Použití filtrů a konkrétní poměrné spektrální složení výsledného osvětlení je diskutováno v kapitole 4.3.1.

### 3.4.3 Zpracování naměřených dat

Časový záznam z deseti měření byl následně v programu MS Excel vyfiltrován tak, že bylo provedeno 25% ořezání, kdy byly vyloučeny minimální a maximální hodnoty. Takto získaný vážený průměr byl následně použit pro výpočet regresních parametrů modelu vyhasínání (3) v programu STATISTICA verze 7.

Pro vyhodnocení byl použit model dvouexponenciálního opadávání luminiscence podle Zhu a kol. [21]. Tento model umožňuje popis experimentálních dat tak, že průběh vyhasínání luminiscence rozděluje na dvě fáze s rozdílnou rychlostí vyhasínání. Tato modelová představa je v souladu s obecným výkladem luminiscence u anorganických luminoforů, kdy je fosforescence anorganické soli ovlivňována použitým dopantem. Jinými slovy, pokud je jako luminiscenční látka použit pouze sulfid zinečnatý je rychlost vyhasínání fosforescence poměrně vysoká a řídí se kinetikou prvního řádu. V reálných systémech je u takového luminoforu použita obvykle měď ve funkci dopantu a v praxi to znamená zpomalení rychlosti vyhasínání, resp. rozdělení vyhasínání na dvě fáze (kinetika druhého řádu), kdy v první rychlejší fázi je vysoká rychlost vyhasínání samotného sulfidu zinečnatého a v druhé fázi zpožděná emise sulfidu zinečnatého ovlivněného přítomností atomu mědi, mající za následek mezisystémovou konverzi, a tím pomalý průběh vyhasínání o řádově nižší intenzitě. Jak ukazují následné grafy zvolený model v rovnici (3) dobře popisuje naměřená experimentální data.

$$I = I_0 + \alpha_1 \times \exp(-t/\tau_1) + \alpha_2 \times \exp(-t/\tau_2) \quad (3)$$

Kde:

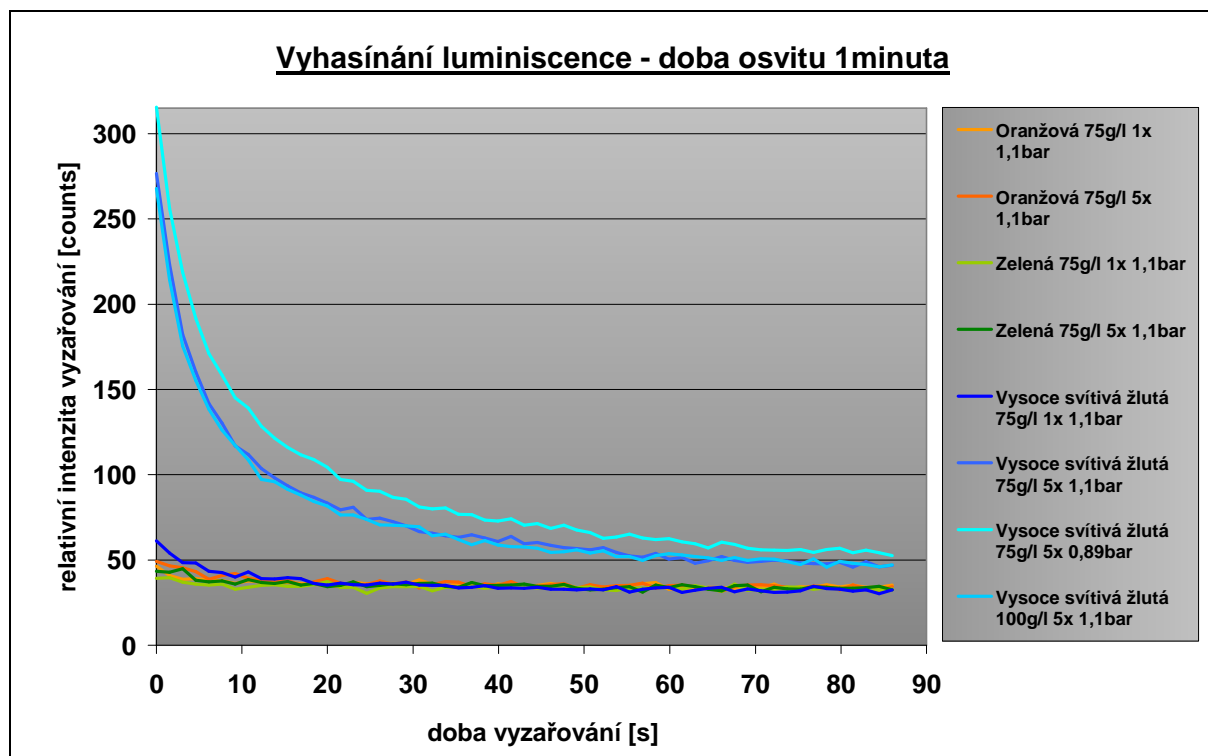
- $I$ .....intenzita vyzařování [ $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
- $I_0$ .....minimální intenzita vyzařování [ $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
- $\alpha_1$ .....konstanta
- $\alpha_2$ .....konstanta
- $t$ .....čas [s]
- $\tau_{1,2}$ .....časové konstanty luminiscence

## 4 Výsledky vyhasínání luminiscence

### 4.1 Vyhasínání luminiscence jednotlivých odstínů s ohledem na koncentraci pigmentu v barvicí lázni a počtem protažení fulárem

Pro měření vyhasínání luminiscence s ohledem na koncentraci pigmentů v barvicí lázni byly použity všechny vzorky příze. Příze byla obarvena oranžovým, zeleným a vysoce svítivým žlutým odstínem se stejnou koncentrací luminiscenčních pigmentů v barvicí lázni a to 75 g/l, všechny s jednoduchým a pětinasobným průtahem fulárem a s přitlakem ždímacích válců fuláru při 1,1 bar. Vysoce svítivý žlutý pigment byl rozšířen ještě o dva vzorky a to v rozdílu v koncentraci barvicí lázně a přitlaku ždímacích válců fuláru. Koncentrace jednoho vzorku byla v barvicí lázni navýšena na 100 g/l a obarvena s pětinasobným průtahem fuláru při stejném přitlaku ždímacích válců fuláru jako u ostatních vzorků 1,1 bar a další vzorek zůstal obarven původní koncentrací barvicí lázně s pětinasobným průtahem fulárem ovšem s přitlakem pouze 0,89 bar. Grafy vyhasínání luminiscence z MS Excel jednotlivých vzorků jsou pak přiloženy do Přílohy č.1.

#### 4.1.1 Výsledky



Graf č.1 Výsledky měření všech vzorků - 1 minuta

Tabulka č.2 pak uvádí naměřené hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA verze 7. všech použitých vzorků. Doba nasvícení vzorků zdrojem je u všech uvedených vzorků 1minuta. Tabulka obsahuje minimální intenzitu vyzařování [ $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}$ ], čas opadávání 1,2, konstanty  $\alpha_{1,2}$ , čas [s], korelační koeficient a vysvětlený rozptyl. V tabulce nejsou uvedeny výsledky vzorku zeleného odstínu 75 g/l 5x 1,1 bar, jelikož jeho data se pohybovala na hranici měřitelnosti a vzorek vykazoval nesmyslné hodnoty.

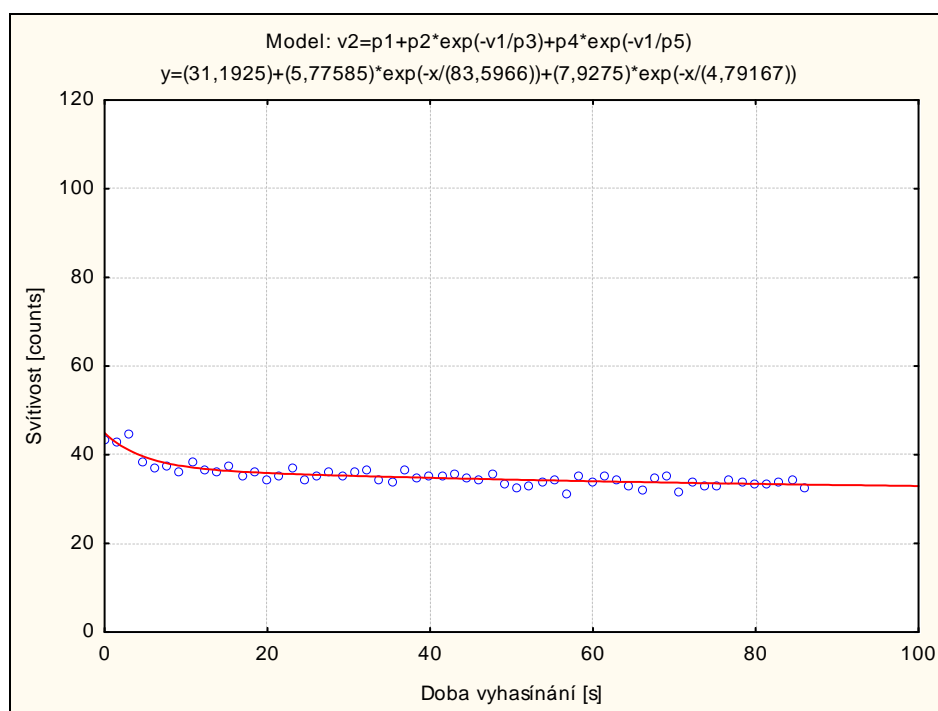
Parametr Vzorek	Minimální intenzita	$\alpha_1$	Čas opadávání 1	$\alpha_2$	Čas opadávání 2	Korelační koeficient	Vysvětlený rozptyl
5x zelený 75 g/l 1,1 bar	31,192	5,775	83,596	7,927	4,791	0,881	77,77
1x oranžový 75 g/l 1,1 bar	34,048	7,301	1,292	4,954	24,465	0,89	80,01
5x oranžový 75 g/l 1,1 bar	29,027	11,679	6,13	8,62	139,71	0,93	87,7
1x žlutý 75 g/l 1,1 bar	31,457	9,61	33,512	26,459	4,277	0,96	92,54
5x žlutý 75 g/l 1,1 bar	38,11	45,854	55,292	168,067	7,18	0,99	98,92
5x žlutý 75 g/l 0,89 bar	37,739	187,201	9,656	51,677	76,644	0,99	99,0
5x žlutý 100 g/l 1,1 bar	38,11	45,854	55,292	168,06	7,18	0,994	98,926

Tabulka č.2 Hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0

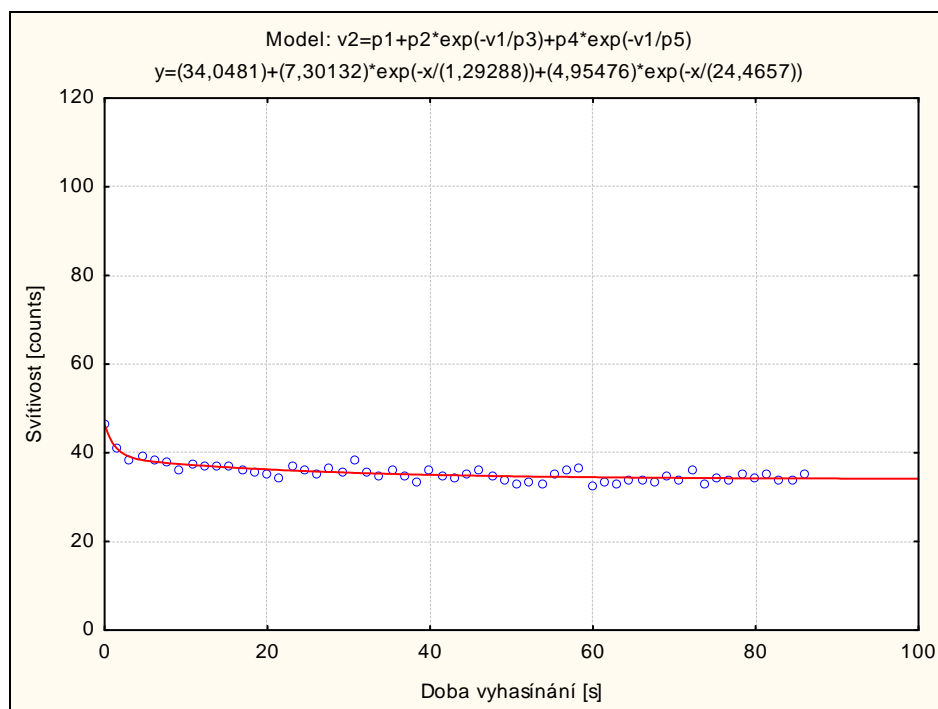
Pro lepší srovnatelnost jsou níže zobrazeny grafy, vypracované v programu STATISTICA verze 7., vybraných vzorků s jednotlivými odstíny a různou koncentrací barvicí lázně. Uvádím zde vzorky, s různou koncentrací luminiscenčních pigmentů v barvicí lázni, s jednoduchým průtahem nebo pětinasobným průtahem fulárem, s přtlakem ždímacích válců 1,1 bar a 0,89 bar. Doba nasvícení vzorků byla vždy 1minuta. Není zde opět uveden graf vzorku zeleného odstínu 75 g/l 5x 1,1 bar, jež jej z důvodu pohybu na hranici měřitelnosti a vykazování nesmyslných hodnot nebylo možné v programu vypracovat.



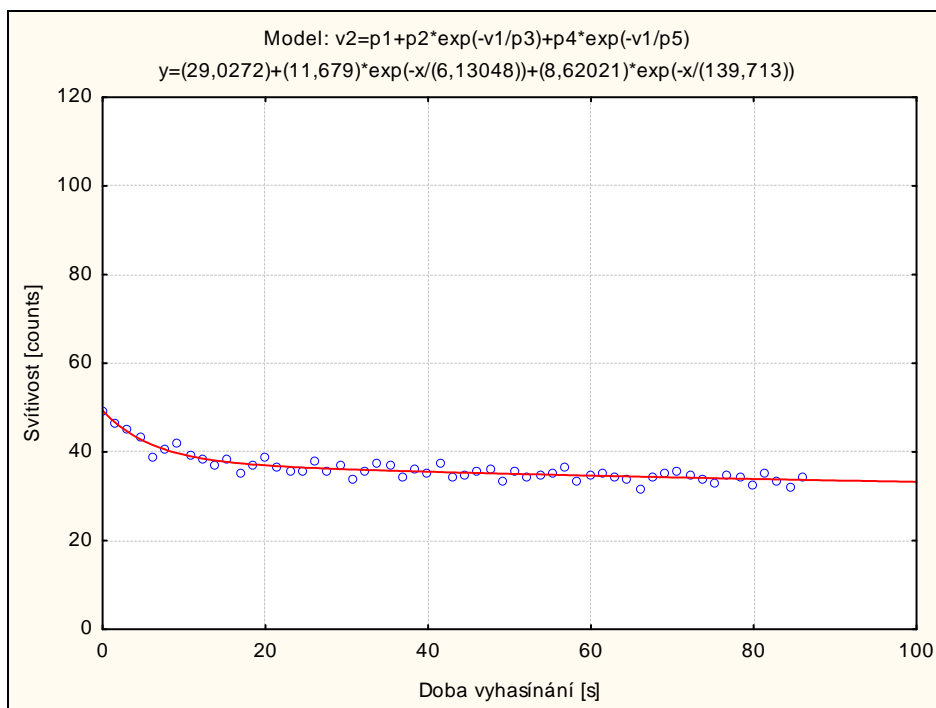
**Porovnání jednotlivých vzorků s různou koncentrací a přtlakem ždímacích válců fuláru  
v programu STATISTICA 7.0 – 1minuta**



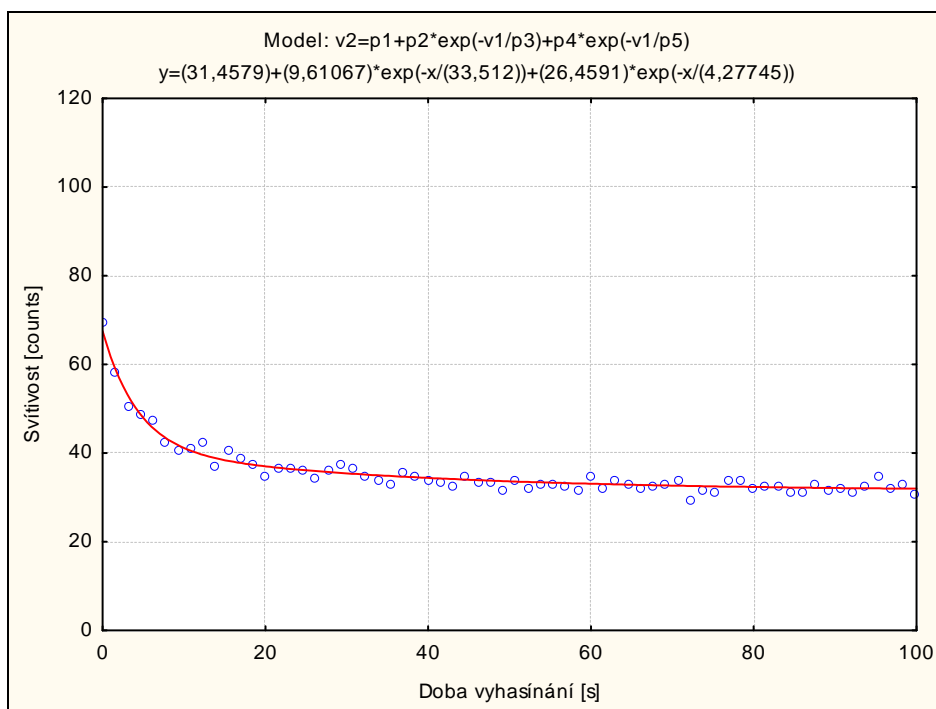
**Graf č.2 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 zeleného pigmentu 75 g/l 5x  
1,1 bar - 1 minuta**



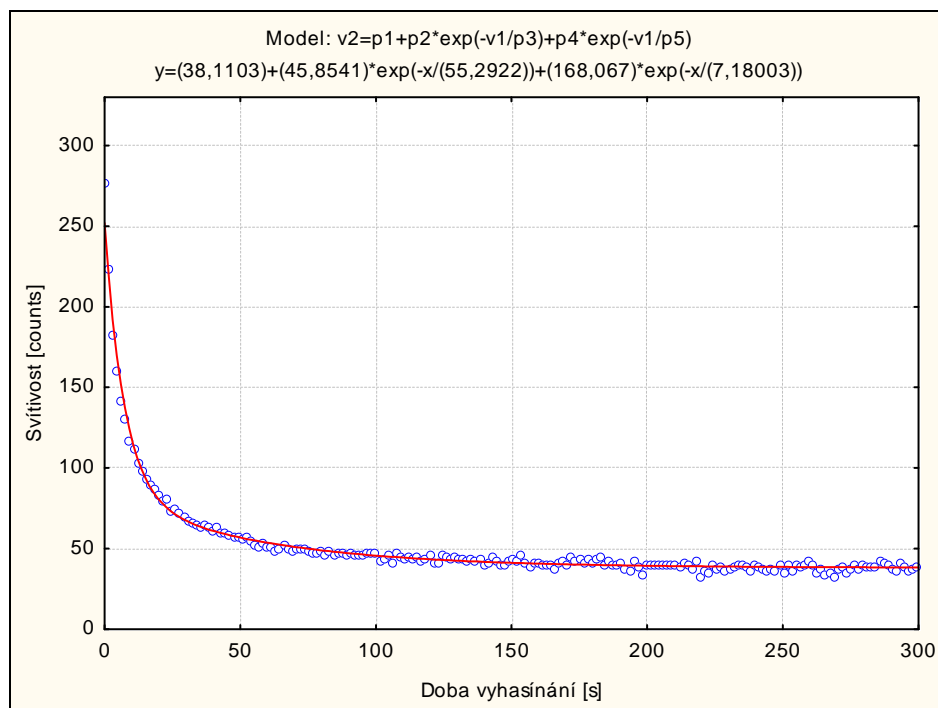
**Graf č.3 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 oranžového pigmentu 75 g/l 1x  
1,1 bar - 1 minuta**



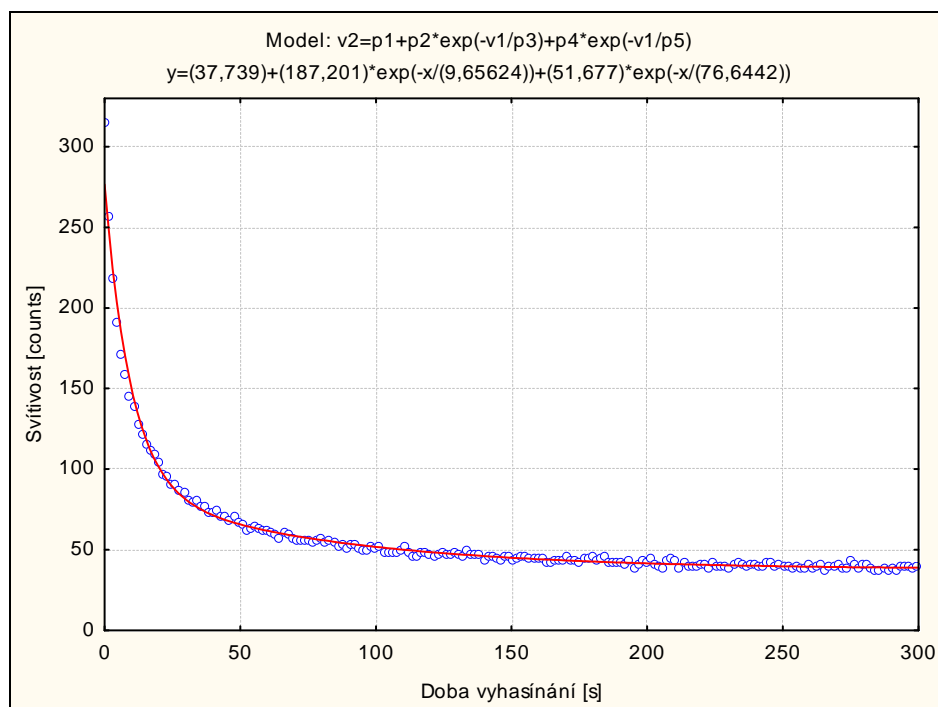
**Graf č.4 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 oranžového pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar - 1 minuta**



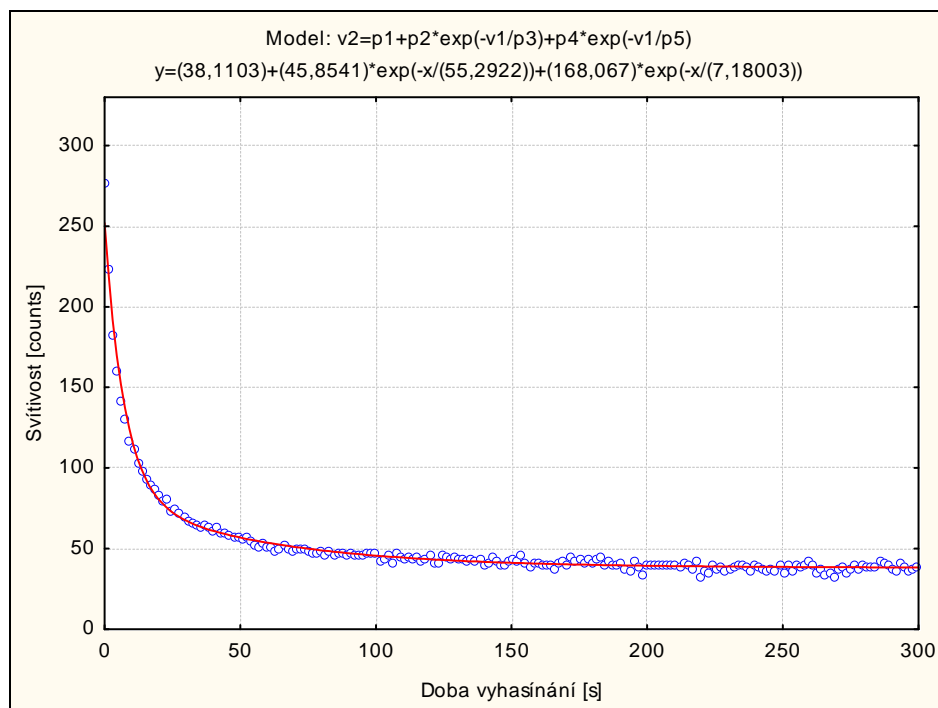
**Graf č.5 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar - 1 minuta**



**Graf č.6 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu  
75 g/l 5x 1,1 bar - 1 minuta**



**Graf č.7 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu  
75 g/l 5x 0,89 bar - 1 minuta**



**Graf č.8 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 100 g/l 5x 1,1 bar - 1 minuta**

#### 4.1.2 Diskuze

Výsledkem časového záznamu vyhasínání z programu OOI Base je Graf č. 1 vypracovaný v MS Excel, který znázorňuje relativní intenzitu vyzařování jednotlivých vzorků v závislosti na čase. Z grafu č.1 je zřejmé, že vzorek, který byl obarven vysoce svítivým pigmentem s koncentrací lázně 75g/l a 5násobným průtahem fulárem při přítlaku ždímacích válců 0,89bar, má nejvyšší intenzitu vyzařování. Důvodem je menší přítlak ždímacích válců fuláru. Na přízi se tak uchytil větší počet luminiscenčních pigmentů, a tím se zvýšila svítivost tohoto vzorku. Naopak nejnižší hodnoty vyzařování vykazuje vzorek obarvený oranžovým a zeleným pigmentem při jednoduchém průtahu fulárem. Jednoznačně vzorky obarvené vysoce svítivým pigmentem s 5násobným průtahem fulárem mají celkově nejlepší výsledné hodnoty ze všech použitých odstínů, a proto bych do dalšího zpracování luminiscenčních přízí pro firmu KAPATEX s.r.o použila pouze tyto vzorky.

Grafy č.2 až 8. ukazují naměřené hodnoty s proložením modelu dvouexponenciálního opadávání luminiscence (3). Z grafů je tak dobře vidět průběh opadávání luminiscence v závislosti na čase.

## 4.2 Vyhasínání luminiscence s ohledem na dobu expozice

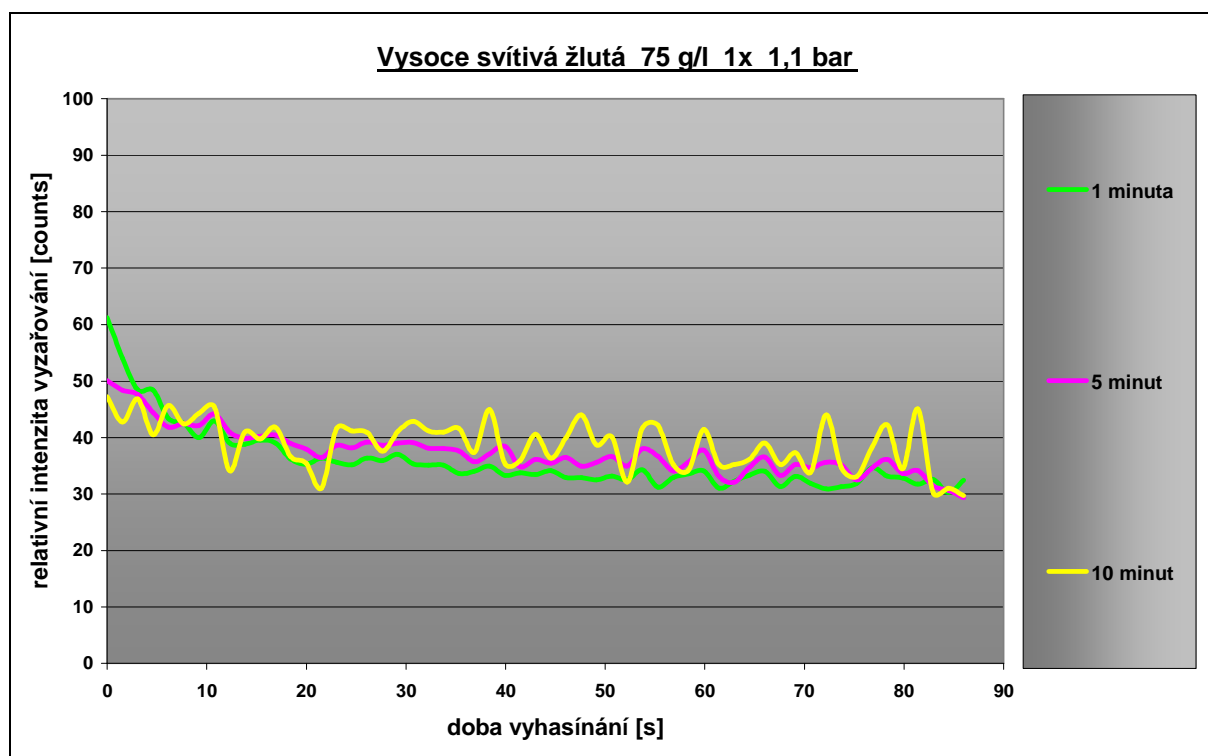
Firma Nemoto Japonsko se svojí novou řadou luminiscenčních pigmentů *Luminova*®, uvádí ve svých kartách hodnoty odlesku jasu a jejich dosvit dle hmotnosti na jednotku plochy. „Za konstantních světelných podmínek a zvýšení hmotnosti na jednotku plochy pigmentu můžeme dosáhnout zvýšení doby dosvitu [s]. Níže uvedená tabulka ukazuje studii provedenou na parafinových discích o tloušťce 2mm, obsahující různé hmotnosti pigmentu na jednotku plochy *Luminova*®.“ (LIGHT FAST - SUPER BRIGHT, LONG AFTER GLOW, PHOSPHORESCENT PIGMENTS) [20].

Porovnání pigmentu						
čas	10g/m <sup>2</sup>	20g/m <sup>2</sup>	50g/m <sup>2</sup>	100g/m <sup>2</sup>	200g/m <sup>2</sup>	400g/m <sup>2</sup>
1minuta	94,5	218,9	390,8	689,2	1.231,0	2.610,0
5minut	24,1	49,7	97,5	171,5	306,0	697,0
10minut	12,4	26,0	50,5	90,1	156,1	364,0
30minut	4,03	8,2	16,4	29,2	50,2	118,8

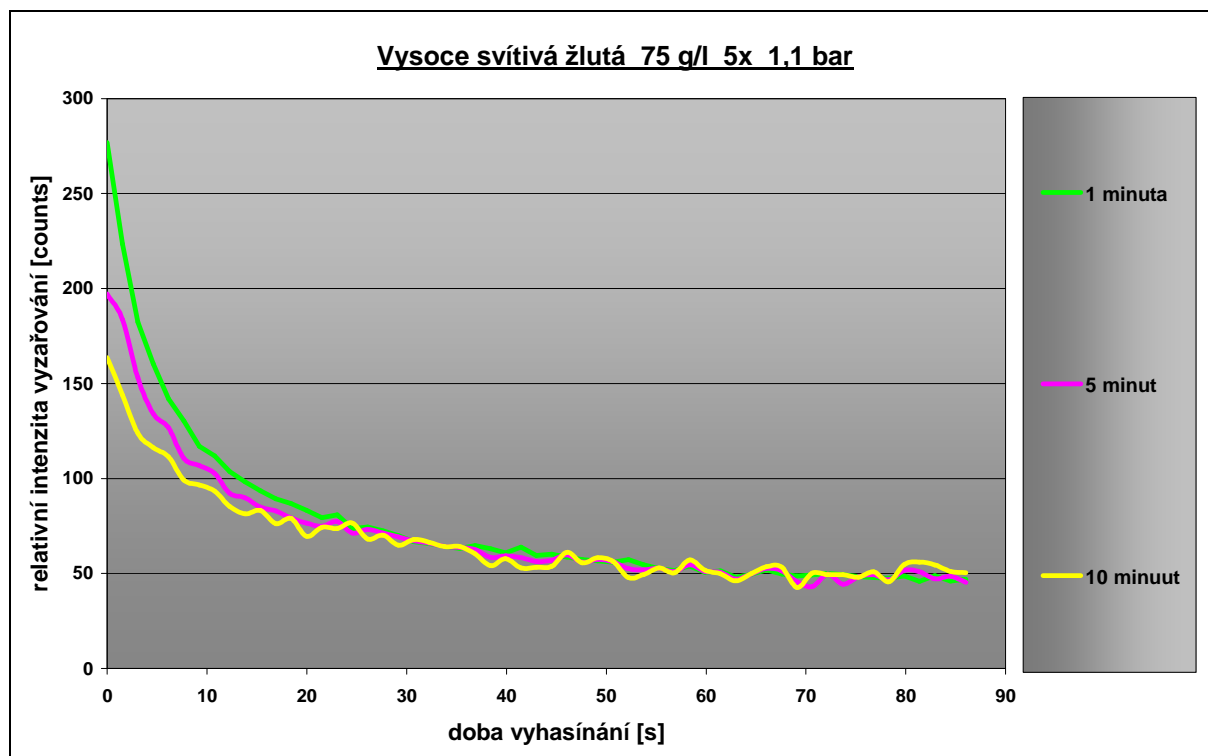
Tabulka č.3 Studie závislosti doby dosvitu [s] na hmotnosti aplikovaného pigmentu [20]

V rámci provedené experimentální studie u vzorků s rozdílnou koncentrací pigmentu a hodnotou přtlaku ždímacích válců byla provedena také studie citlivosti připravených vzorků na dobu osvitu. Při měření vyhasínání luminiscence s ohledem na dobu expozice byl experiment zaměřen na tři hlavní časy 1, 5 a 10 minut, po které byly vzorky osvětlovány a následně snímány. Vzhledem k informacím získaným z literárního průzkumu bylo očekáváno, že zvolený rozdíl v dobách expozice i výsledné expoziční časy povedou k měřitelnému nárůstu luminiscence, resp. doby vyhasínání. Výsledky jednotlivých vzorků v grafech č.7, 8, 9 a 10 však ukazují, že tento předpoklad nebyl u zvolené experimentální sestavy dosažen. Diskuze tohoto problému je provedena v následující kapitolách.

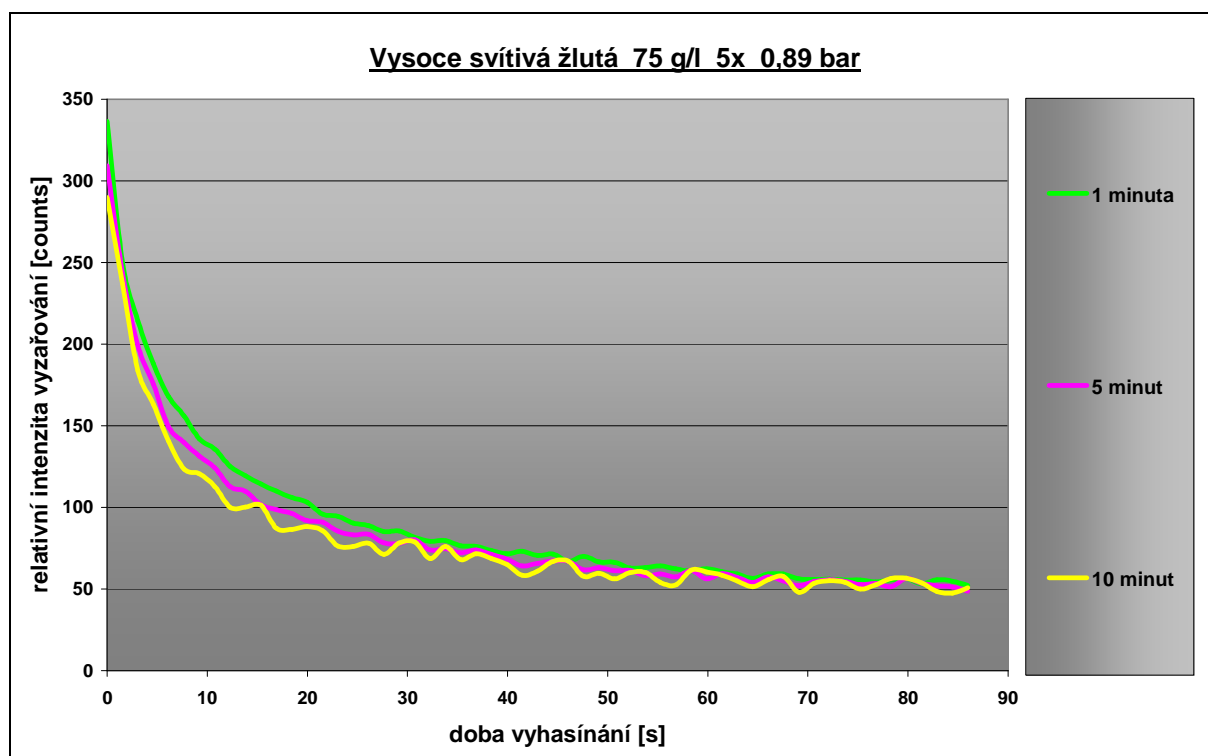
#### 4.2.1 Výsledky



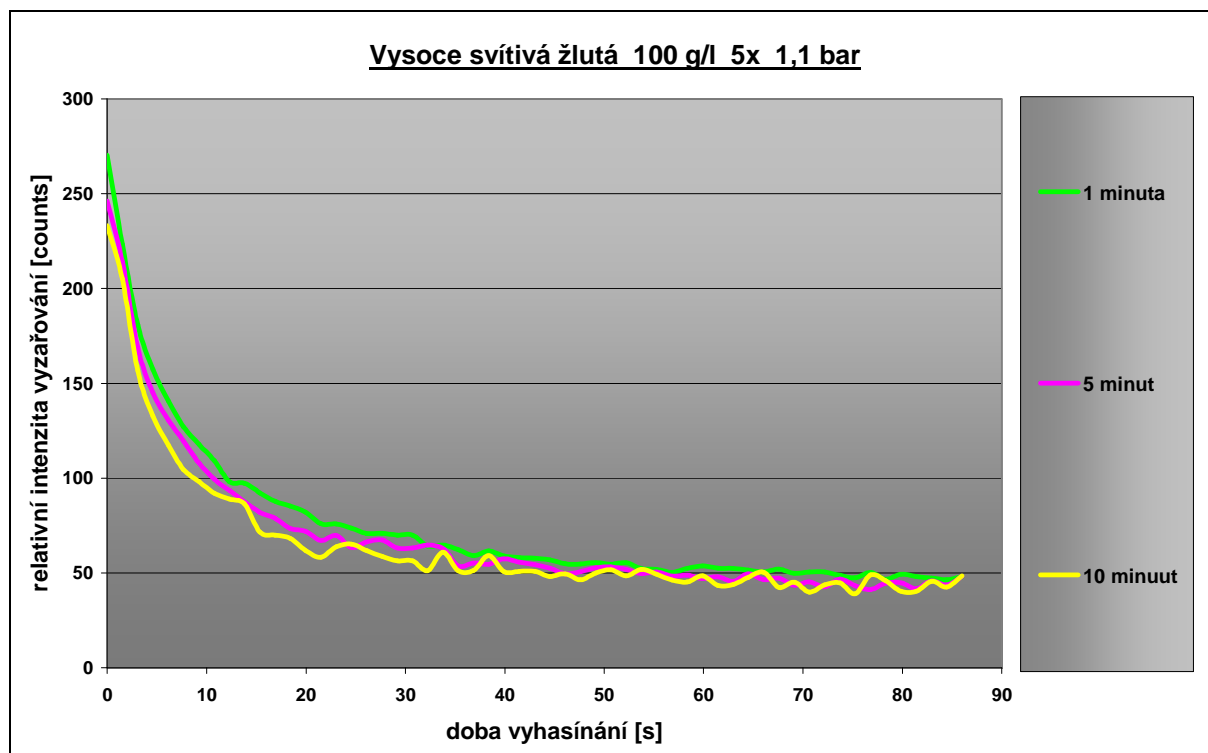
Graf č.9 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého odstínu 75 g/l 1x 1,1 bar – 1, 5, 10 minut



Graf č.10 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého odstínu 75 g/l 5x 1,1 bar – 1, 5, 10 minut



Graf č.11 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého odstínu 75 g/l 5x 0,89 bar – 1, 5, 10 minut



Graf č.12 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého odstínu 100 g/l 5x 1,1 bar – 1, 5, 10 minut

#### 4.2.2 Diskuze

Z grafů č.9 až 12 můžeme vyčíst, že vzorky, které byly nasvíceny světelným zdrojem 1 minutu mají výraznější výsledky než vzorky, které byly osvětlovány 5minut. Následně pak vzorek při 10 minutovém nasvícení vykazuje ještě nižší hodnoty než vzorek při 5 minutovém nasvícení. Podle očekávání by ovšem výsledky měly dopadnout opačně. Z toho vyplývá, že by vzorky osvětlené delší dobu měly mít kratší poločas vyhasínání a měly by vyzařovat výrazněji. Ovšem tuto domněnku můžeme vyvrátit právě důkazem výrobců, kteří uvádí, že při delším nasvícení pigmentů dochází k jejich zahřívání, a tím se naopak snižuje jejich vyzařovací efekt a jejich rychlost vyhasínání je tím větší. Z těchto výsledků již můžeme vyvodit závěry, že vzorky nasvícené pouze 1minutu mají kratší poločas vyhasínání a vyzařují podstatně více než vzorky, které byly nasvíceny 5krát a 10krát delší dobu. Zahřívání mělo vliv také na použité typy filtrů. Při měření vyhasínání luminiscence došlo k prasknutí právě těchto barevných filtrů a to už po minutovém osvětlování jednotlivých vzorků. Výsledky tohoto měření jsou pak v kapitole 4.3.

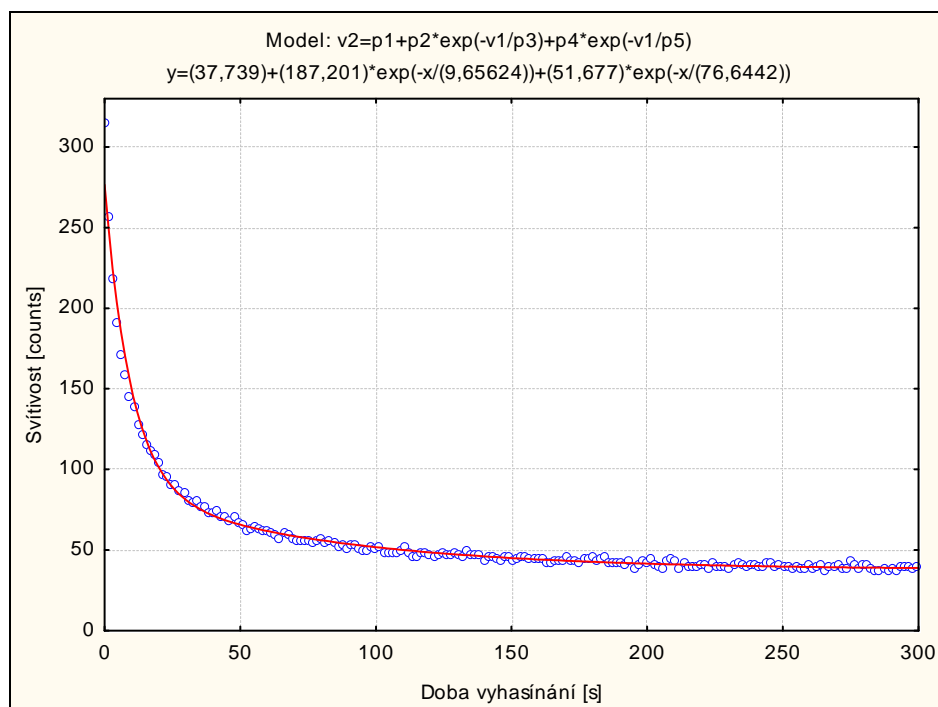
Tabulka č.4 a následující grafy z programu STATISTICA verze 7. pak ukazují hodnoty jednotlivých parametrů vzorků a průběh opadávání luminiscence. Grafy č.13 až 15 patří pouze vzorku vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar, ostatní grafy jsou přiloženy v Příloze č. 2.

Parametr vzorek	Doba měření	Minimální intenzita	$\alpha_1$	Čas opadávání 1	$\alpha_2$	Čas opadávání 2	Korelační koeficient	Vysvětlený rozptyl
Vysoce svítivý žlutý 75g/l 1x 1,1bar	1minuta	31,457	9,61	33,51	26,45	4,27	0,961	92,54
	5minut	35,003	7,57	2,002	6,78	18,37	0,556	31,01
	10minut	38,448	7,91	7,618	2,50	3,41	0,447	20,00
Vysoce svítivý žlutý 75g/l 5x 1,1bar	1minuta	35,534	34,4	90,802	181,09	9,49	0,988	97,62
	5minut	44,028	69,94	26,893	90,84	4,601	0,996	99,37
	10minut	48,816	42,63	2,913	73,22	19,71	0,99	98,13
Vysoce svítivý žlutý 75g/l 5x 0,89bar	1minuta	37,739	187,2	9,656	51,677	76,64	0,994	98,64
	5minut	48,293	94,21	26,034	162,09	3,743	0,999	99,82
	10minut	48,139	164,9	3,668	78,57	26,9	0,996	99,37
Vysoce svítivý 100g/l 5x 1,1bar	1minuta	38,11	45,85	55,29	168,06	7,18	0,994	98,92
	5minut	40,599	133,5	5,464	57,398	29,34	0,996	99,21
	10minut	41,95	144,1	4,847	49,03	25,42	0,995	99,04

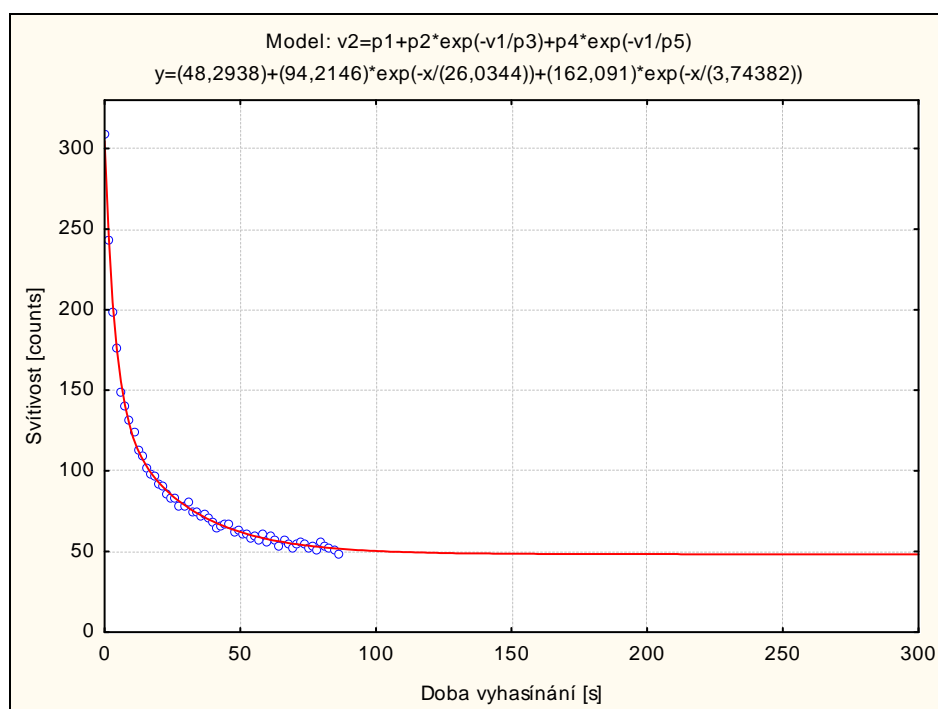
Tabulka č.4 Hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTIKA 7.0 pro vzorek vysoce svítivý žlutý – 1, 5 a 10 minut



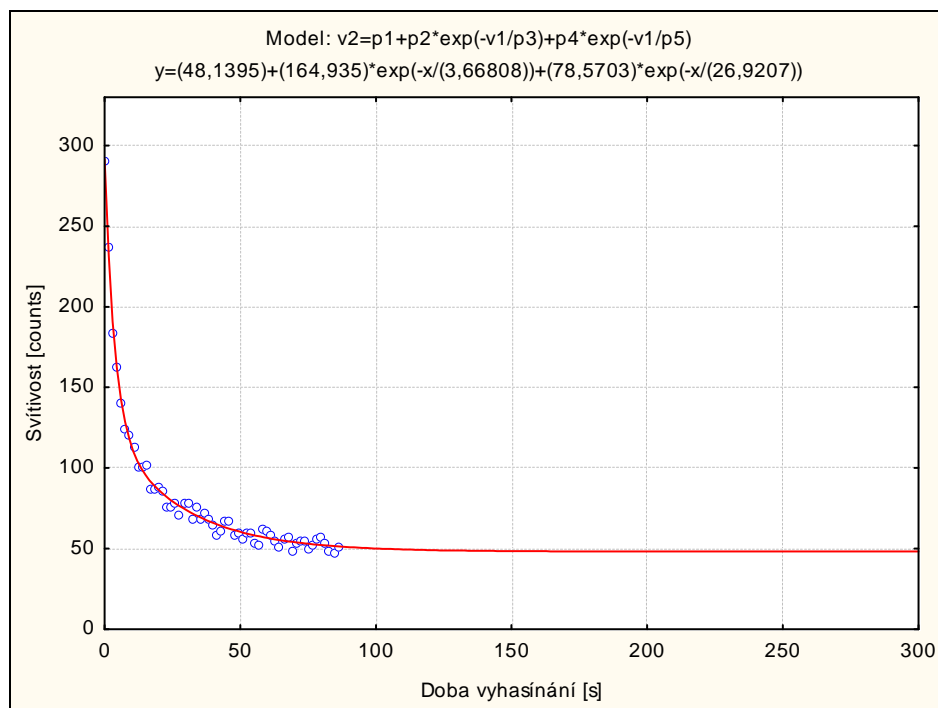
**Porovnání vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar v programu STATISTICA 7.0 – 1, 5 a 10minut**



**Graf č.13 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar – 1 minuta**



**Graf č.14 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar – 5 minut**



**Graf č.15 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar – 10 minut**

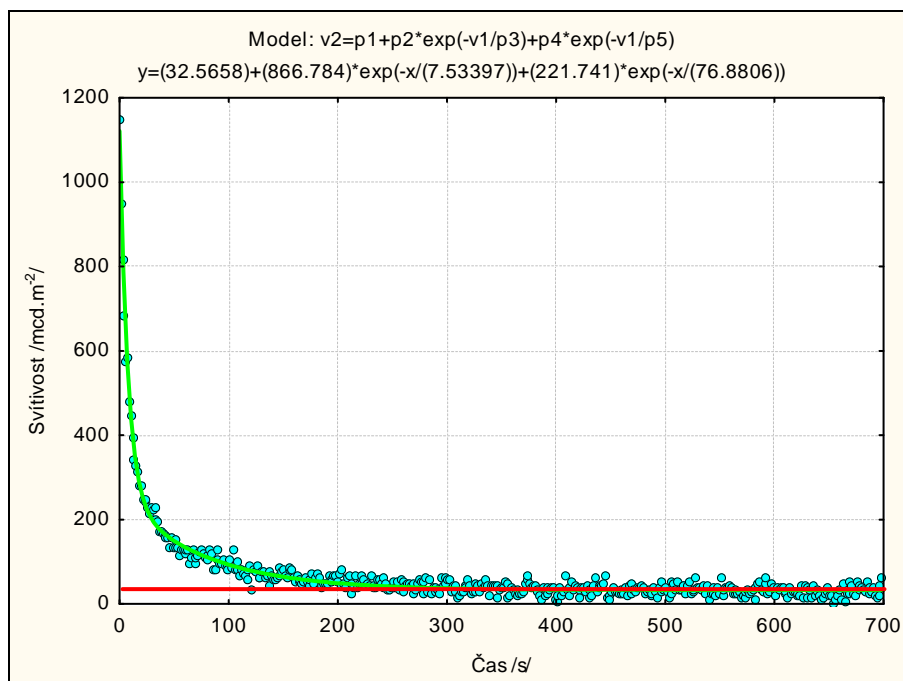
#### **4.2.3 Intenzita vyzařování vzorku 75 g/l 5x 0,89 bar**

Pro lepší znázornění relativní svítivosti vzorku, vysoce svítivého žlutého pigmentu s koncentrací 75 g/l s 5násobným průtahem fulárem a s přtlakem ždímacích válců 0,89bar, byly výstupní naměřené hodnoty senzoru převedeny v měřítku 1count=300mcd a zpracovány znovu do grafu. Níže uvedený graf č.17 pak znázorňuje intenzitu vyhasínání v [mcd\*m<sup>-2</sup>] a hladinu, ke které dojde po určitém čase snížením intenzity vyzařování pod hranici citlivosti lidského oka. Tato doba se rovná přibližně 300s. Graf č.18 patří vzorku z plastu, který má za úkol porovnat rozdíly koncentrace pigmentů v použitých materiálech. Měl by ověřit hypotézu, že intenzita vyzařování luminiscence závisí nejen na koncentraci pigmentů v materiálu na jednotku plochy, ale také na samotném použitém materiálu, na který je aplikován.

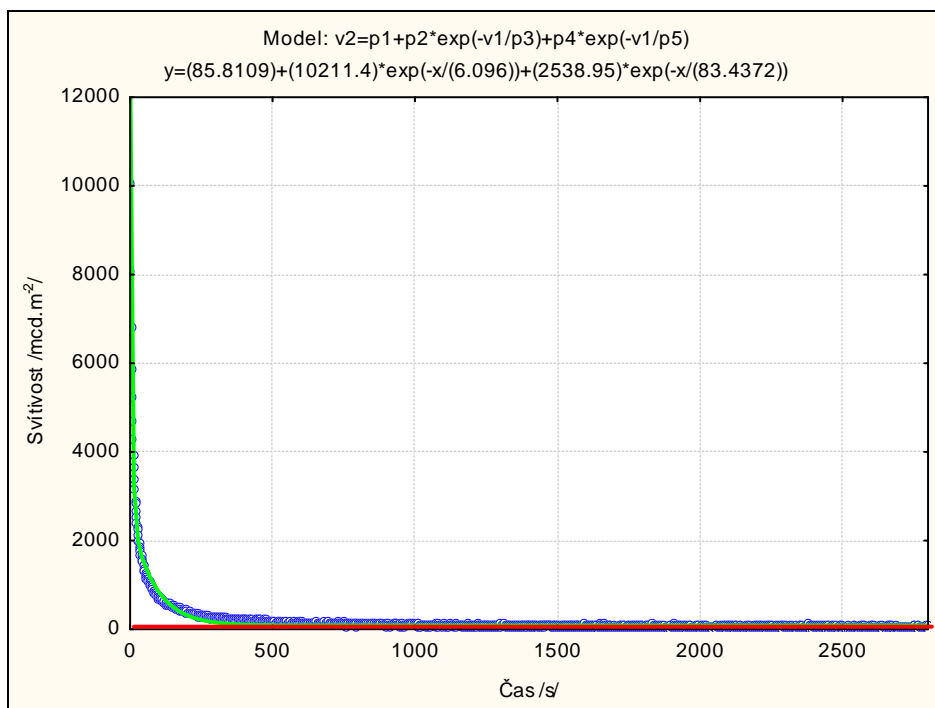
<b>Parametr vzorek</b>	<b>Doba měření</b>	<b>Minimální intenzita vyzařování</b>	<b><math>\alpha_1</math></b>	<b>čas opadávání 1</b>	<b><math>\alpha_2</math></b>	<b>čas opadávání 2</b>	<b>Korelační koeficient</b>	<b>rozptyl</b>
<b>Vysoce svítivý žlutý 75 g/l 5x 0,89 bar</b>	<b>1minuta</b>	<b>61,794</b>	<b>422,645</b>	<b>401,301</b>	<b>5619,601</b>	<b>36,097</b>	<b>0,919</b>	<b>84,55</b>

**Tabulka č.5 Hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vzorku vysoce svítivého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar**

Červeně je znázorněna vizuální hranice, která je obvyklá pro hodnocení luminiscenčních materiálů a jedná se v podstatě o stonásobek absolutní hranice citlivosti lidského oka na světlo.



**Graf č.16 Výsledky měření vyhasínání luminiscence vzorku vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar**

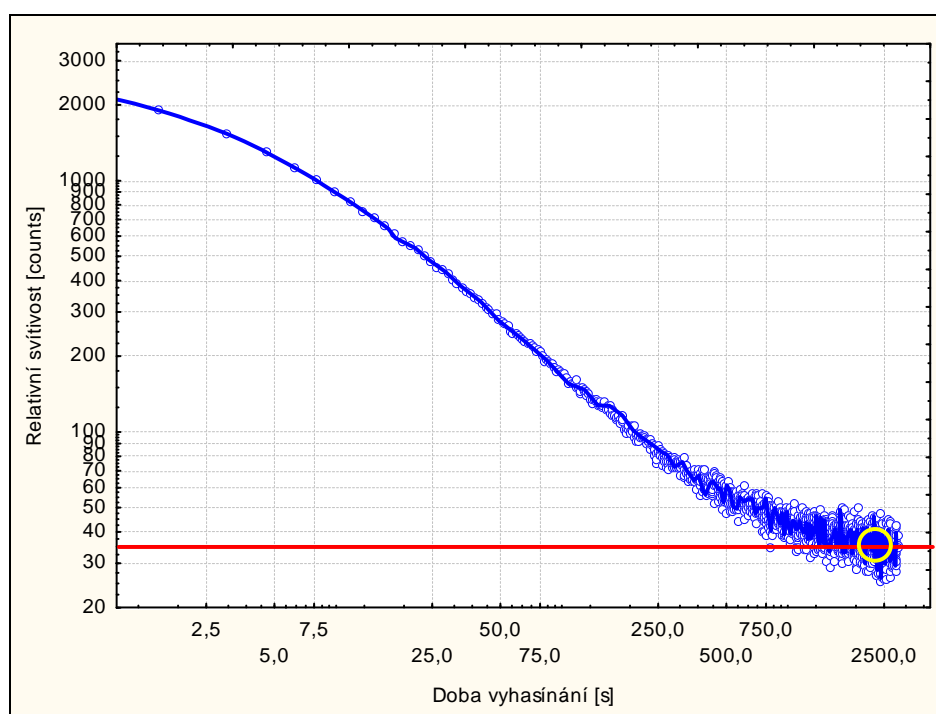


**Graf č.17 Výsledky měření vyhasínání luminiscence vzorku z plastu**

#### 4.2.3.1 Diskuze

Při porovnání výsledků měření v závislosti na době nasvícení s výsledky vzorku příze a vzorku z plastu můžeme říci, že plastový vzorek vykazuje maximální hodnoty až 9krát vyšší než maximální hodnoty vzorku příze s koncentrací 75 g/l s 5násobným průtahem fulárem a s přítlakem ždímacích válců 0,89 bar. To lze odůvodnit vyšší koncentrací pigmentu v materiálu měřeného vzorku plastu oproti obarvené přízi s koncentrací 75 g/l s 5násobným průtahem fulárem a s přítlakem ždímacích válců 0,89 bar, která vykazovala nejlepší výsledky. Podle informací firmy HONEYWELL (22) je nutné pro zvýraznění efektu zvýšit koncentraci luminiscenčních pigmentů až na hodnotu 3krát vyšší než je běžná dávka 200 g/m<sup>2</sup> používaná při výrobě výstražných a bezpečnostních značek, což znamená více než 600 g/m<sup>2</sup>.

Pro určení přesnější doby vyhasínání luminiscence je nutné data zpracovat formou log-log. Oblast protnutí vyhasínání luminiscence vzorku z plastu s hladinou viditelnosti lidským okem znázorňuje žluté kolečko v Grafu č.18.



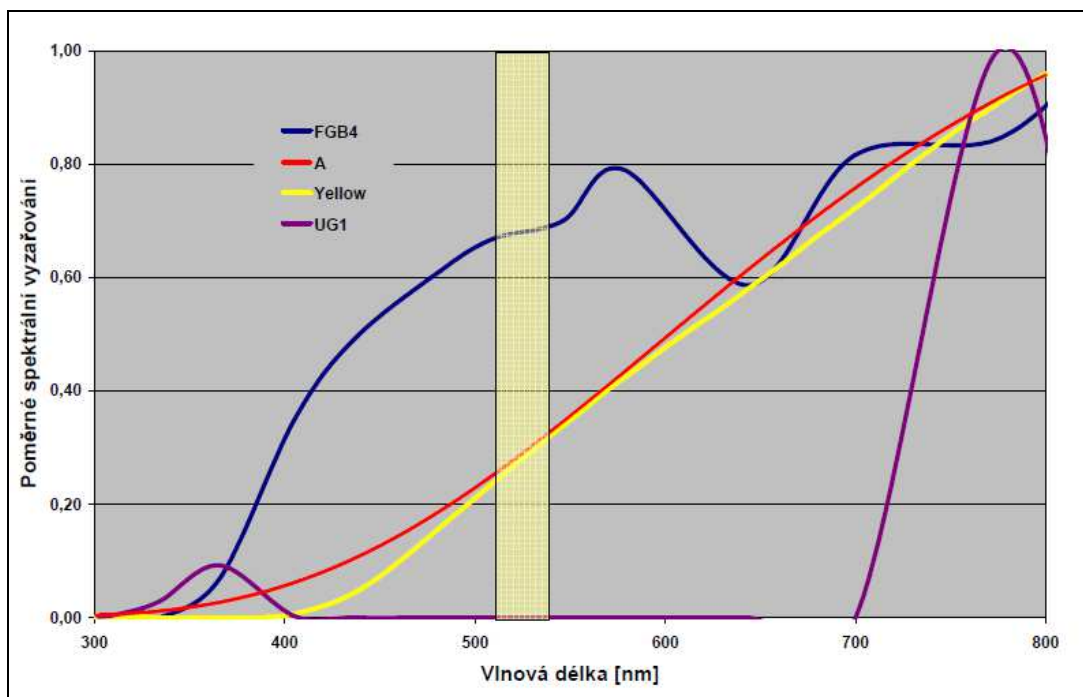
Graf č.18 Výsledky měření vyhasínání luminiscence vzorku z plastu znázorněné formou log-log diagramu

### 4.3 Vyhasínání luminiscence s ohledem na spektrální distribuci světelné energie použitého osvětlení

V další části experimentu byly mezi zdroj a vzorek vkládány příslušné definované filtry pro osvětlování světlem o určité vlnové délce.

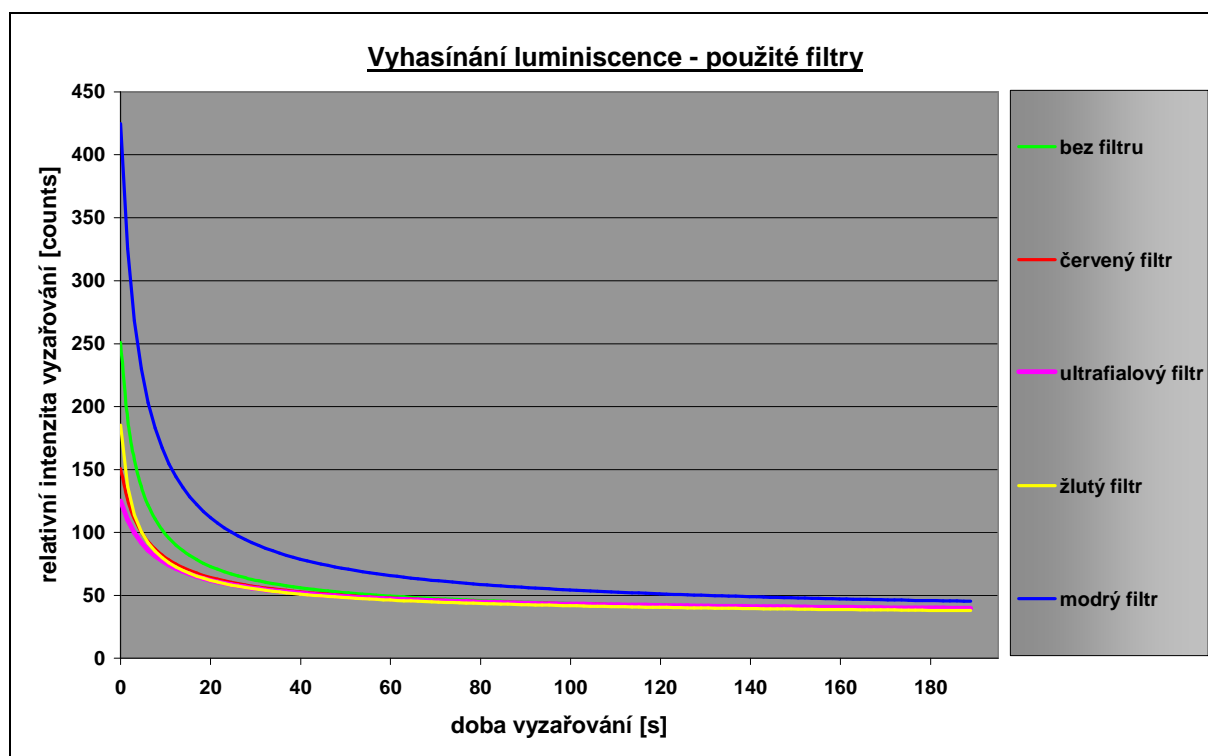
#### 4.3.1 Úprava poměrného spektrálního složení světla pomocí skleněných filtrů

Z grafu č.19 jsou vidět poměrná spektrální složení použitých osvětlení při testování spektrální závislosti excitace luminiscenčních materiálů. Světelný zdroj označený jako A je poměrné spektrální složení halogenové žárovky použité v osvětlovači LUMOS 2004 pokud není zařazen žádný filtr. Modrá křivka odpovídá poměrnému spektrálnímu složení světla pokud je v osvětlovači zařazen modrý filtr SCHOTT FGB 4. Vzhledem k tomu, že časová studie osvětlování luminiscenčních vzorků tímto osvětlením ukázalo inverzní efekt, kdy delší osvit znamenal zkrácení doby luminiscence, což je v rozporu s obvyklou zkušeností, bylo rozhodnuto otestovat možnost, že luminiscence je negativně ovlivněna NIR zářením. K tomuto účelu byly použity dva filtry. První byl filtr žlutý, který posouvá vyzařování více do oblasti NIR a naopak filtr SCHOTT UG1, který potlačuje vizuální část spektra a umožňuje vyzařování pouze v UV a NIR oblasti spektra. Dle obrázku č.4 spojitého viditelného světla můžeme určit propustnost pro použité filtry.



Graf č. 19 Spektrální složení použitého osvětlení (žlutá oblast zjednodušeně znázorňuje vyzařování použitých luminiscenčních pigmentů)

### 4.3.2 Výsledky



Graf č.20 Výsledky měření vysoce svítivého odstínu 100 g/l 5x 1,1 bar– 1, 5, 10 minut

### 4.3.3 Diskuze

Při měření luminiscence u stejného vzorku (vysoce svítivý žlutý pigment 75 g/l 5x 0,89 bar) s použitím různých filtrů byly nevyšší hodnoty intenzity vyzařování naměřeny u modrého filtru, který měl výrazně vyšší hodnoty oproti ostatním filtrům. Jeho nejvyšší hodnoty se pohybovaly okolo 430 counts. Další nejvyšší hodnoty intenzity vyzařování padly při měření vzorku bez filtru, tyto hodnoty byly téměř poloviční než u měření s použitím modrého filtru. U ostatních filtrů se hodnoty intenzity vyzařování pohybovaly v rozmezí 100 – 200 counts.

<b>Parametr Použitý filtr</b>	<b>Minimální intenzita</b>	<b><math>\alpha_1</math></b>	<b>Čas opadávání 1</b>	<b><math>\alpha_2</math></b>	<b>Čas opadávání 2</b>	<b>Korelační koeficient</b>	<b>Vysvětlený rozptyl</b>
bez filtru	39,554	49,41	38,124	146,88	5,015	0,997	99,628
modrý	37,739	187,2	38,124	51,67	76,644	0,994	98,644
červený	39,541	72,07	5,987	33,34	44,395	0,996	99,512
žlutý	38,149	36,44	40,687	99,88	4,196	0,994	99,491
ultrafialový	39,575	28,5	46,483	53,49	7,143	0,993	99,403

Tabulka č.6 Hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0

## 5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vypracování rešerše se zaměřením na luminiscenci, luminiscenční materiály a měření vyhasínání luminiscence. V teoretické části jsou shrnuty v zásadě všechny potřebné informace o typech luminiscenčních pigmentů, jejich vlastnostech a výrobě. Byly popsány jevy, které v těchto látkách a zařízeních probíhají, popis jejich funkce a základní vztahy nutné pro jejich pochopení.

V experimentální části byla provedena studie vyhasínání luminiscence s ohledem na dobu expozice a s ohledem na spektrální distribuci světelné energie použitého osvětlení. Byly zde popsány konkrétní pigmenty užívané při barvení vzorků, jejich základní vlastnosti a složení. V práci byl navržen experiment pro tři barevné luminiscenční pigmenty s různou koncentrací barvicí lázně, přitlakem ždímacích válců, různou dobou osvětlení a s použitím různých barevných filtrů. Pomocí přístroje Lumos 2004 od firmy Avantes s.r.o. bylo provedeno měření vyhasínání luminiscence na jednotlivých vzorcích. Výsledky experimentu popisují diskuze uvedené v jednotlivých měřeních.

Po shrnutí všech výsledků měření vyhasínání luminiscence s ohledem na koncentraci barvicí lázně, počtem průtahů a přitlaku ždímacích válců fuláru, můžeme říci, že ze všech testovaných barevných luminiscenčních pigmentů nejvíce vyzařoval luminiscenčním efektem vzorek obarvený vysoce svítivým žlutým pigmentem s koncentrací 75 g/l barvicí lázně, s 5násobným průtahem fulárem a s přitlakem ždímacích válců 0,89 bar. Svými parametry dosáhl nejlepších výsledků a jako jediný se stal ideálním vzorkem pro vetkávání do froté výrobků pro firmu KAPATEX s.r.o. Pro zvýšení luminiscenčního efektu vetkávaných přízí bude firmě KAPATEX s.r.o. doporučeno navýšení koncentrace luminiscenčních pigmentů v barvicí lázni. Podle informací známých firem vyrábějících luminiscenční pigmenty, je potřeba v některých případech pro zvýšení efektu navýšit koncentraci na hodnotu až 3krát větší než je běžně používáno. Zároveň ale navrhuji zvážení vysoké cenové náročnosti těchto luminiscenčních pigmentů.

V další části měření s ohledem na dobu expozice byl použit právě jen vzorek s koncentrací 75 g/l, s 5násobným průtahem fulárem a s přitlakem ždímacích válců 0,89 bar. Při měření doby vyhasínání po 1, 5 a 10 minutách prokázal vzorek nejvyšší hodnoty intenzity vyzařování po 1 minutě nasvícení. Se zvyšující se dobou expozice osvětlování vzorku se hodnoty intenzity vyzařování snížily. To bylo zřejmě způsobeno závislostí zahřívání luminiscenčních pigmentů na intenzitě vyzařování.

Při měření vyhasínání luminiscence s ohledem na spektrální distribuci světelné energie použitého osvětlení vzorek s koncentrací 75 g/l, s 5násobným průtahem fulárem a s přítlakem ždímacích válců 0,89 bar, prokázal nejlepší výsledky při použití modrého filtru. Výsledek byl ovlivněn propustností vlnových délek modrého filtru, který svou vlnovou délkou vymezil pásmo propustnosti. V pokračování experimentální části je pak zobrazen rozdíl mezi vzorkem příze s koncentrací 75 g/l, s 5násobným průtahem fulárem a s přítlakem ždímacích válců 0,89 bar a vzorkem z plastu, který svými výsledky dosáhl až 9krát vyšších hodnot intenzity vyzařování než vzorek příze. Následně pak vzorek z plastu svými několika násobně vyššími hodnotami dokazuje závislost intenzity vyzařování na použitém materiálu, ve kterém je pigment obsažen. Pro určení přesnější doby vyhasínání luminiscence je vytvořen graf, který blíže určuje oblast protnutí vyhasínání luminiscence vzorku z plastu s hladinou viditelnosti lidským okem. K této skutečnosti dojde u vzorku s koncentrací 75 g/l, s 5násobným průtahem fulárem a s přítlakem ždímacích válců 0,89 bar přibližně po 300s. U vzorku z plastu k protnutí dojde přibližně až po 2500s.

Doufám, že tato práce přispěje k dalšímu vývoji barvení bavlněných přízí luminiscenčními pigmenty a poznatky jak ze zdařilých, tak i nezdařilých pokusů povedou k nalezení efektivnějšího postupu v nanášení těchto pigmentů. Pro pokračování práce navrhuji zvážit, zda luminiscenční pigment nepřidat do příze již při její výrobě v technologii Melt-blown, kde je pigment uchycen již přímo ve struktuře vlákna a nikoli jen na jejím povrchu, jako tomu je při nanášení pigmentů na přízi klasickým barvením. Dále navrhuji zaměřit se na výběr vhodnější metody pro rovnoměrnější nanesení pigmentu na přízi a možnosti tunelového zasušení odtahované příze.



## Použitá literatura:

- [1] Dvořák, L.; Kupka, Z.: *Fyzikální podstata a využití luminiscence*. 1.st ed.; Státní pedagogické nakladatelství: Praha, 1980.
- [2] Espe, W. *Luminiscenční látky v elektrotechnice – výroba, vlastnosti a použití*. 1.st ed.; Státní nakladatelství technické literatury: Praha, 1954.
- [3] Kryštůfek, J.; Wiener, J. *Barvení textilií I.*, 1.st ed.; technická Univerzita v Liberci: Liberec, 2008.
- [4] Pátek, K. *Luminiscence*, 1.st ed.; Státní nakladatelství technické literatury: Praha, 1962.
- [5] Pátek, K. Neumannová M. *Elektroluminiscence – světlo budoucnosti*, 1.st ed.; Nakladatelství Československé akademie věd: Praha, 1965.
- [6] Pelant, I.; Valenta, J. *Luminiscenční spektroskopie*, 1.st ed.; Knihy Nakladatelství Academia: Praha, 2006.
- [7] Rožan, J.; Vaníček, O. *Pigmenty - práškové barvy*, 1st ed.; Státní nakladatelství technické literatury: Praha, 1959.
- [8] Vacek, K.; Pantoflíček, J. *Luminiscence I.*, 1st ed.; Státní pedagogické nakladatelství: Praha, 1967.
- [9] Vacek, K.; Pantoflíček, J. *Luminiscence II.*, 1st ed.; Státní pedagogické nakladatelství: Praha, 1972.

## Použité internetové odkazy:

- [10] Principy fluorescenční spektroskopie. <<http://psych.lf1.cuni.cz/fluorescence/soubory/principy.htm>> (accessed March 04, 2012).
- [11] Šloufová, I.; Co je to luminiscence?, 2008. Meredith. <<http://www.meredit.cz/content/view/241/77/>> (accessed Dec 12, 2011).
- [12] Trade Leads. TOBOC. <<http://www.toboc.com/Shandong-Lunbo-Luminous-Products-Co-Ltd/360296-Exporter-CompanyTradeleads.aspx>> (accessed Jan 15, 2012).
- [13] Jablonski Energy Diagram. Microscopy resource center. <<http://www.olympusmicro.com/primer/java/jablonski/jabintro/>> (accessed March 04, 2012).
- [14] Vašátko, J. Diplomová práce, 2008. Masarykova Univerzita. [http://is.muni.cz/th/28788/prif\\_m/diplomova\\_prace.pdf](http://is.muni.cz/th/28788/prif_m/diplomova_prace.pdf) (accessed April 12, 14).
- [15] Paďour, J. Barvy, 2006. Dobré světlo. <<http://www.dobre-svetlo.cz/title.php?v=81920&s=12&p=0>> (accessed April 12, 14).

- [16] Pad'our, J. Světlo, 2006. Dobré světlo. <<http://www.dobre-svetlo.cz/title.php?v=svetlo.htm>>(accessed April 12, 14).
- [17] Scordato, A.: Fluorescence Filter Combinations, 2010. MicroscopyU. <<http://www.microscopyu.com/articles/fluorescence/filtercubes/filterindex.html>> (accessed April 29, 2012).
- [18] Products&Services, 2010. Nemoto&CO.,LTD. <<http://www.nemoto.co.jp/en/products/luminova/list.html>> (accessed May 02, 2012).
- [19] Jirásek, J.; Vavro, M. Minerální pigmenty a barviva. Pigmenty a barviva. <[http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/pigmenty\\_barviva.html](http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/pigmenty_barviva.html)> (accessed May 05, 2012).
- [20] NEMOTO & CO., LTD.; LIGHT FAST - SUPER BRIGHT LONG AFTERGLOW PHOSPHORESCENT PIGMENTS. Luminova ®. <<http://www.umccorp.com/print/LuminovE%20%2804-16-2009%29.pdf>> (accessed May 05, 2012).
- [21] Yong, Z.; Mingtao, Z.; et al. Luminescence enhancing encapsulation for strontium aluminate phosphors with phosphate, 2009. Materials Chemistry and Physics. <<http://144.206.159.178/ft/715/606078/12577355.pdf>> (accessed May 07, 2012).
- [22] Firemní materiály firmy Honeywell; Product Data Sheet 50085 Lumilux ® green N2, 2006. Honeywell. <<http://www51.honeywell.com/sm/lumilux/common/documents/polymers-green-n-2.pdf>> (accessed May 07, 2012).

## **Seznam obrázků:**

**Obrázek č.1 Bezpečnostní luminiscenční tabulky**

**Obrázek č.2 Zjednodušené schéma zářivých a nezářivých přechodů mezi elektronově vibračními stavy složité molekuly (Jablonski diagram)**

**Obrázek č.3 Vznik barvy odražením specifických vlnových délek světla. Světlo různých vlnových délek (tj. různých barev) dopadá na pigment, který část z nich absorbuje. Výsledná barva je pak dána směsí odražených vlnových délek světla.**

**Obrázek č.4 Spojité spektrum viditelného světla**

**Obrázek č.5 Vysoce svítivý žlutý pigment**

**Obrázek č.6 Zelený pigment**

**Obrázek č.7 Oranžový pigment**

**Obrázek č.8 Fulár**

**Obrázek č.9 Schéma experimentální linky pro nános pigmentů**

**Obrázek č.10 Porovnání jednotlivých odstínů a koncentrace luminiscenčních přízí**

**Obrázek č.11 Schéma měření vyhasínání luminiscence**

## **Seznam tabulek:**

**Tabulka č.1 Vlastnosti pigmentů řady *Luminova* ®**

**Tabulka č.2 Hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0**

**Tabulka č.3 Studie závislosti dosvitu na hmotnosti aplikovaného pigmentu**

**Tabulka č.4 Hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTIKA 7.0 pro vzorek vysoce svítivý žlutý s různou dobou nasvícení**

**Tabulka č.5 Hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vzorku vysoce svítivého odstínu 75 g/l 5x 0,89 bar**

**Tabulka č.6 Hodnoty vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0**

## Seznam grafů:

Graf č.1 Výsledky měření všech vzorků - 1 minuta

Graf č.2 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 zeleného pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar - 1 minuta

Graf č.3 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 oranžového pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar - 1 minuta

Graf č.4 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 oranžového pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar - 1 minuta

Graf č.5 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar - 1 minuta

Graf č.6 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar - 1 minuta

Graf č.7 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar - 1 minuta

Graf č.8 Průběh vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 100 g/l 5x 1,1 bar - 1 minuta

Graf č.9 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého žlutého pigmentu 1x 75 g/l 1,1 bar – 1, 5, 10 minut

Graf č.10 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého žlutého pigmentu 5x 75 g/l 1,1 bar – 1, 5, 10 minut

Graf č.11 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého žlutého pigmentu 5x 75 g/l 0,89 bar – 1, 5, 10 minut

Graf č.12 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého žlutého pigmentu 5x 100 g/l 1,1 bar – 1, 5, 10 minut

Graf č.13 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar – 1 minutu

Graf č.14 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar – 5 minut

Graf č.15 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar – 10 minut

Graf č.16 Výsledky měření vyhasínání luminiscence vzorku vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar – 1minuta

Graf č.17 Výsledky měření vyhasínání luminiscence vzorku vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar – 1minuta

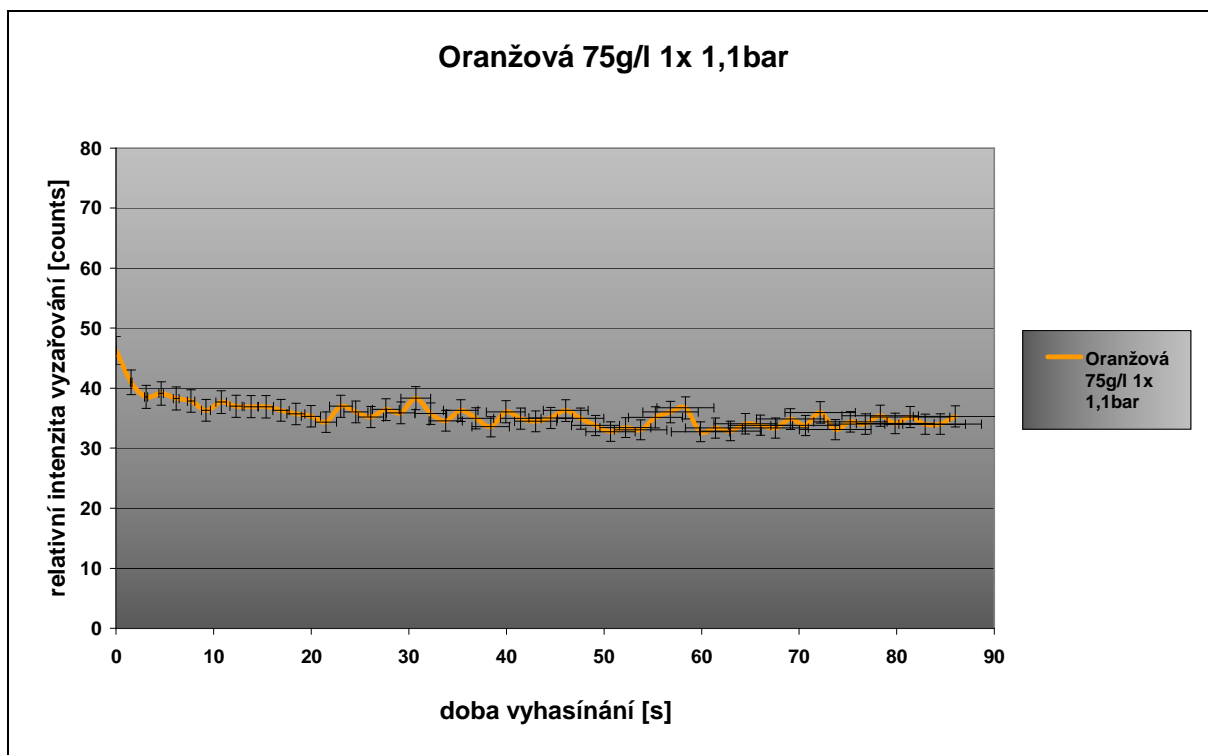
Graf č.18 Výsledky měření vyhasínání luminiscence plastového vzorku znázorněné formou log-log diagramu

Graf č. 19 Spektrální složení použitého osvětlení

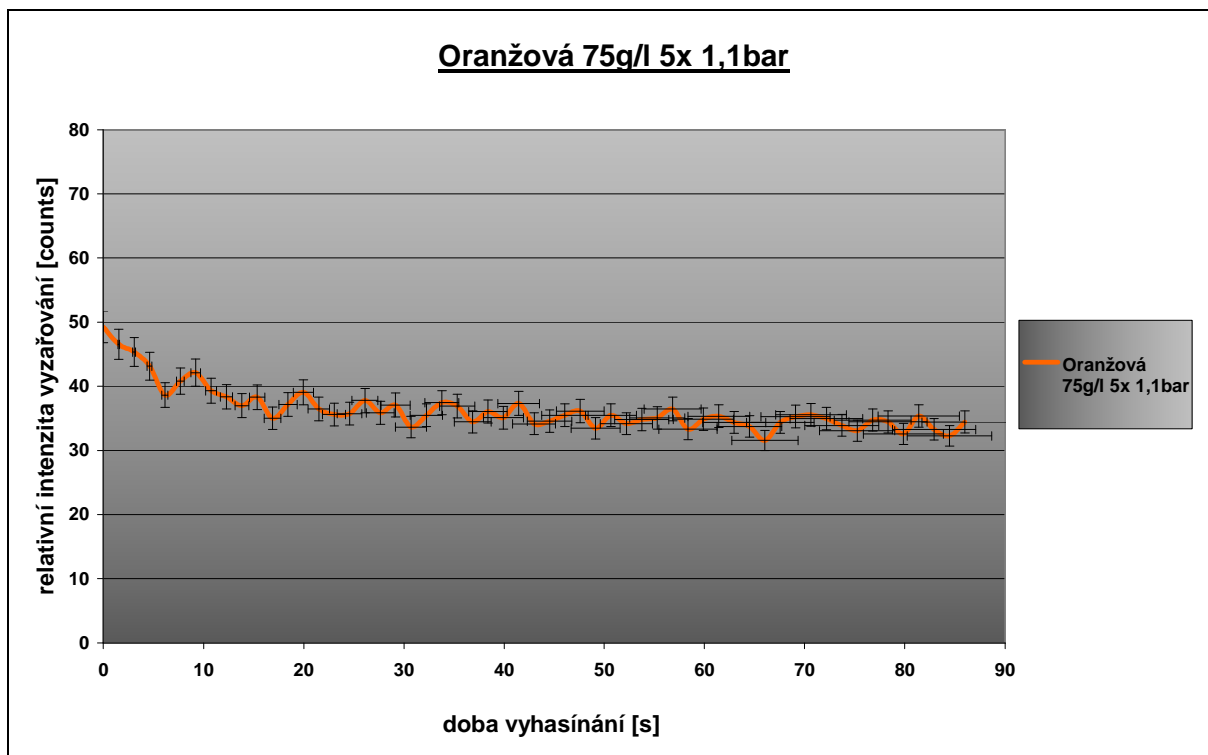
Graf č.20 Výsledky měření vysoce svítivého pigmentu 100 g/l 5x 1,1 bar – 1, 5, 10 minut

## Příloha č. 1

### Oranžový pigment

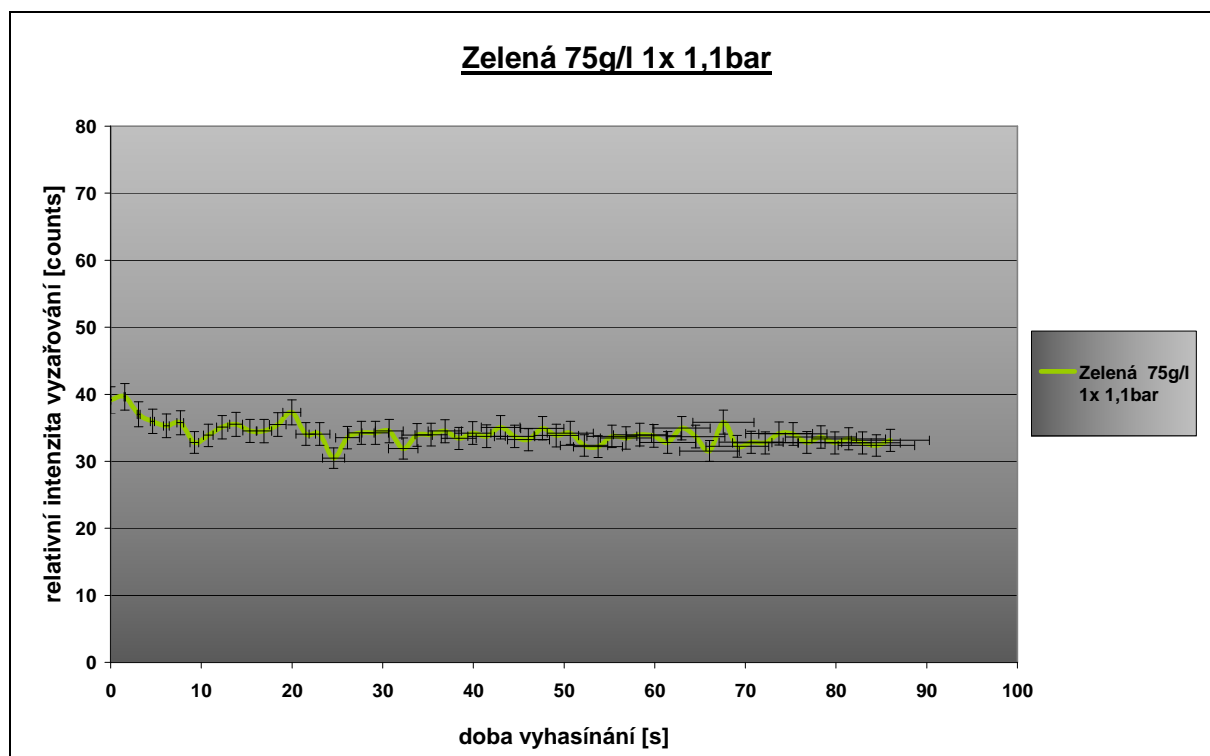


Graf č.1 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel oranžového pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar – 1minuta

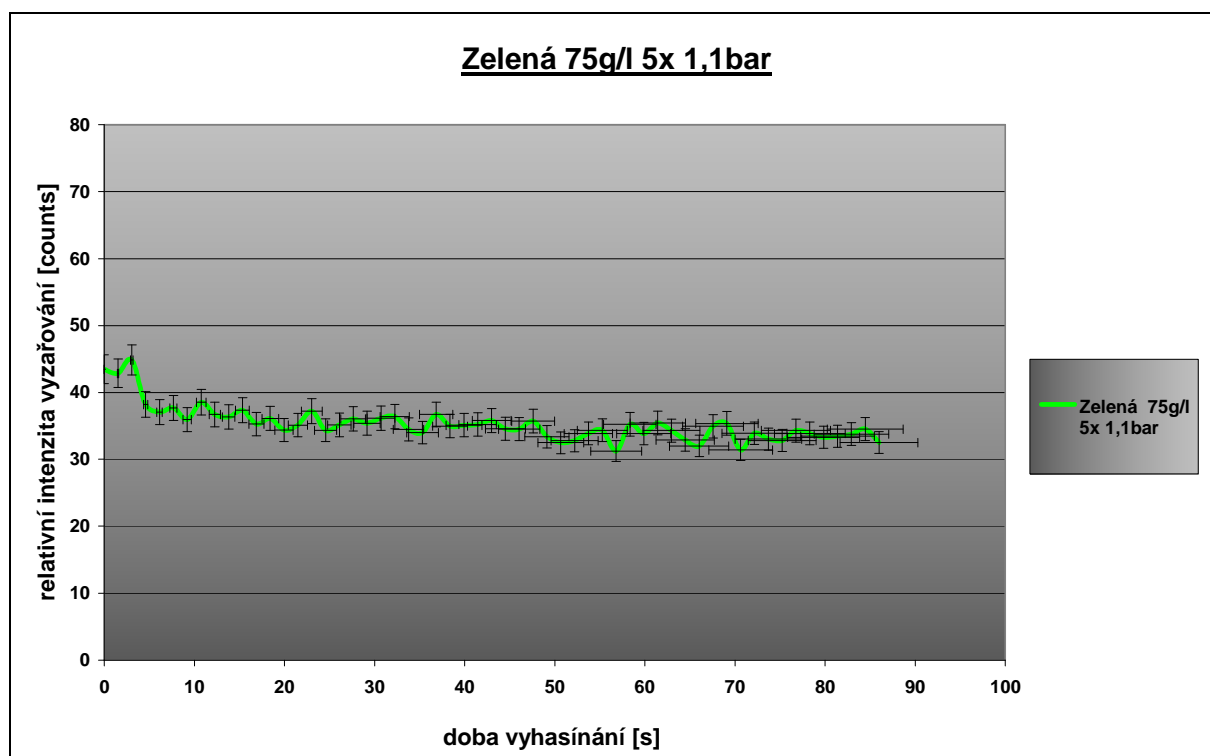


Graf č.2 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel oranžového pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar – 1minuta

## Zelený pigment

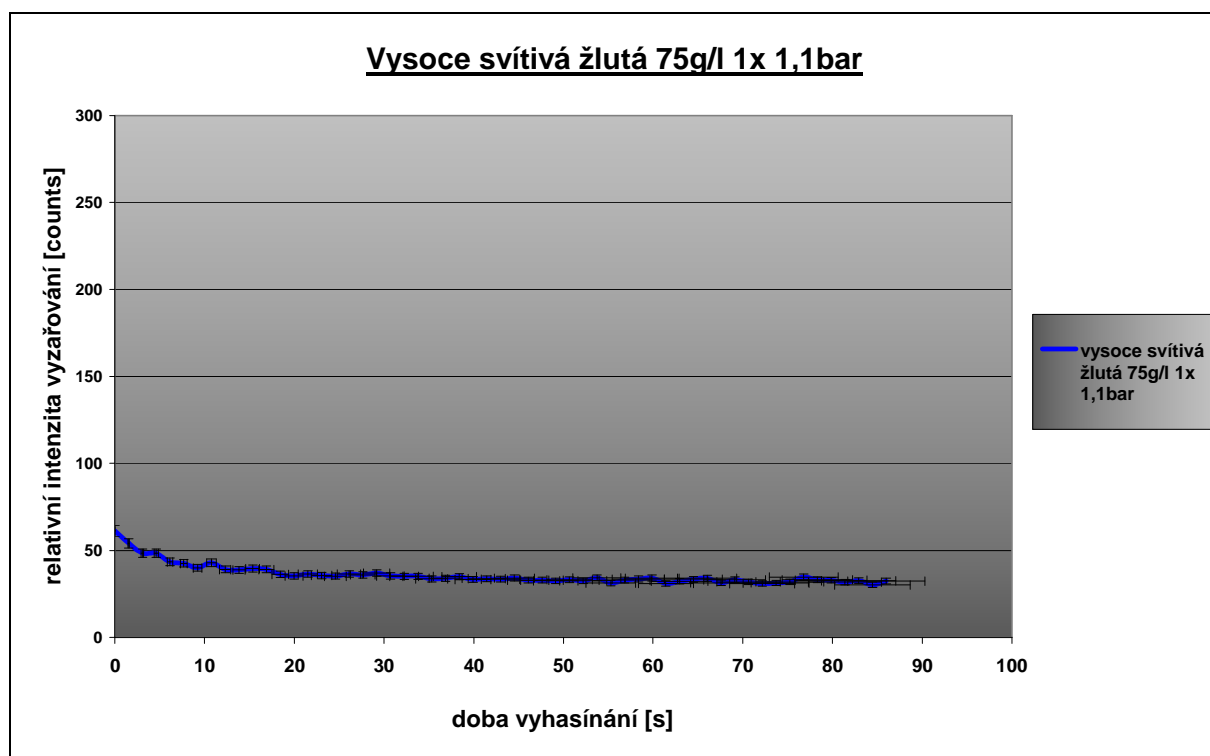


Graf č.3 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel zeleného pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar – 1minuta

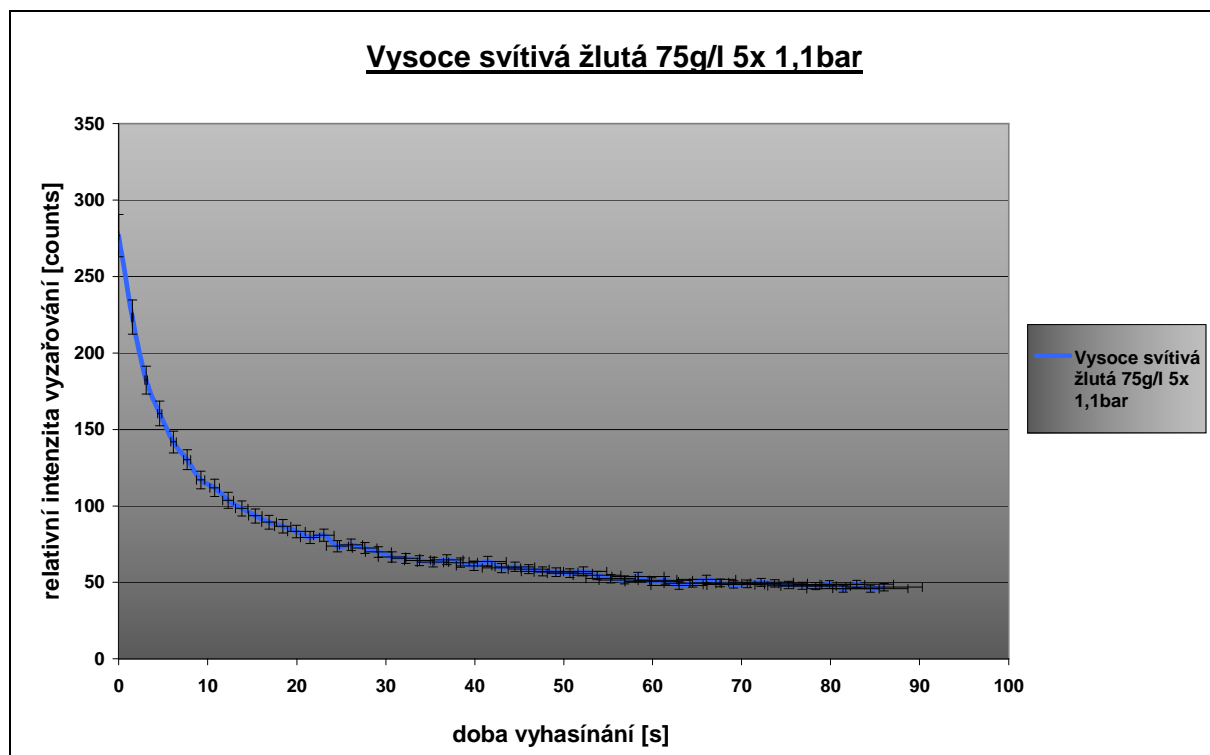


Graf č.4 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel zeleného pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar – 1minuta

### Vysoce svítivý žlutý pigment

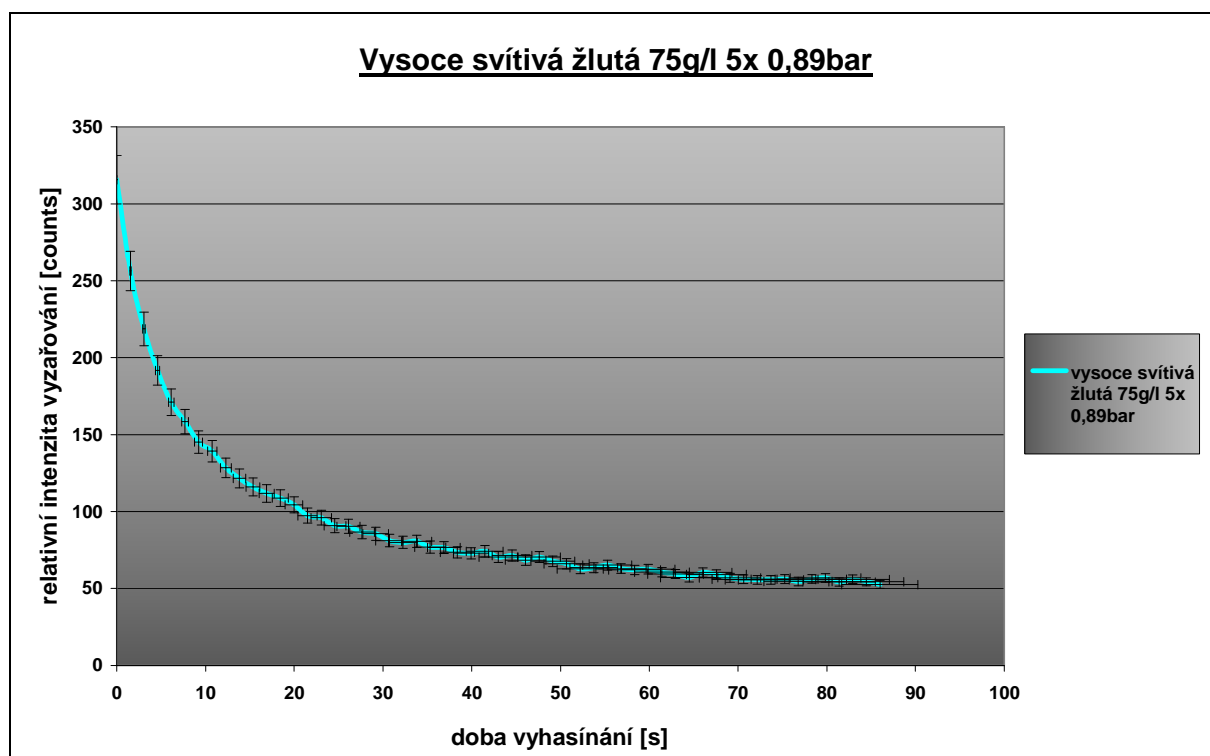


Graf č.5 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar – 1minuta

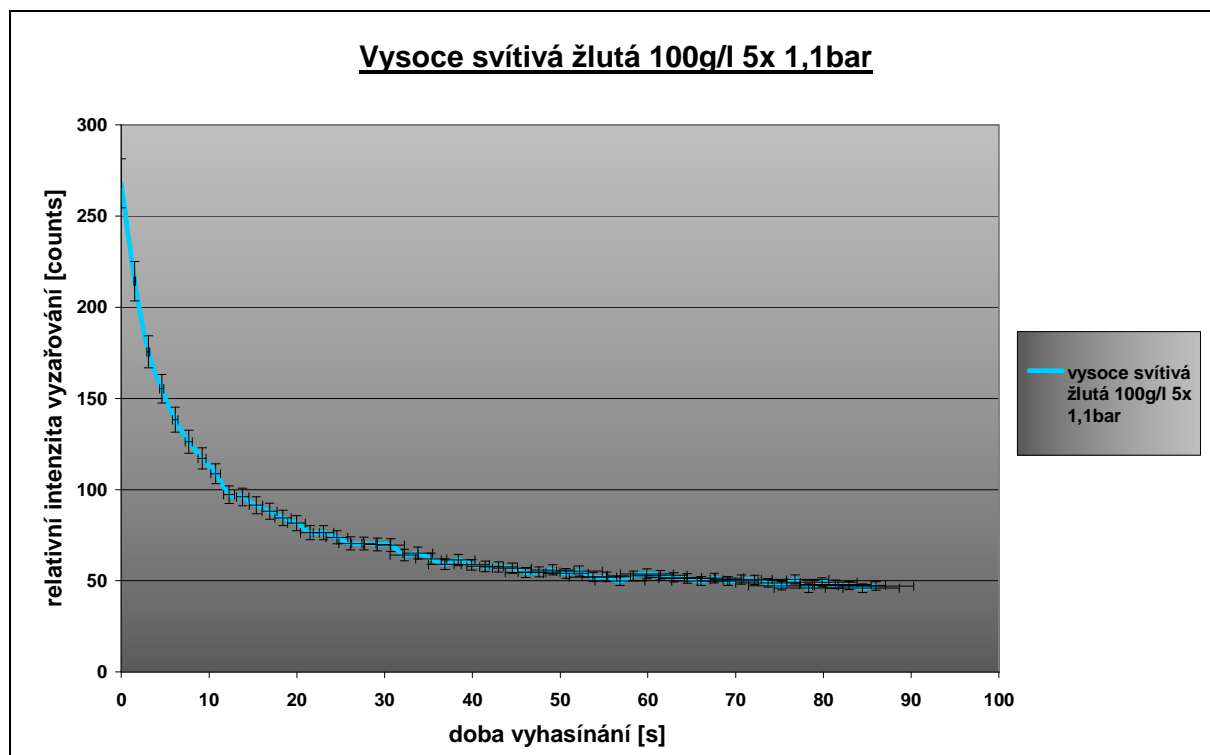


Graf č.6 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar – 1minuta





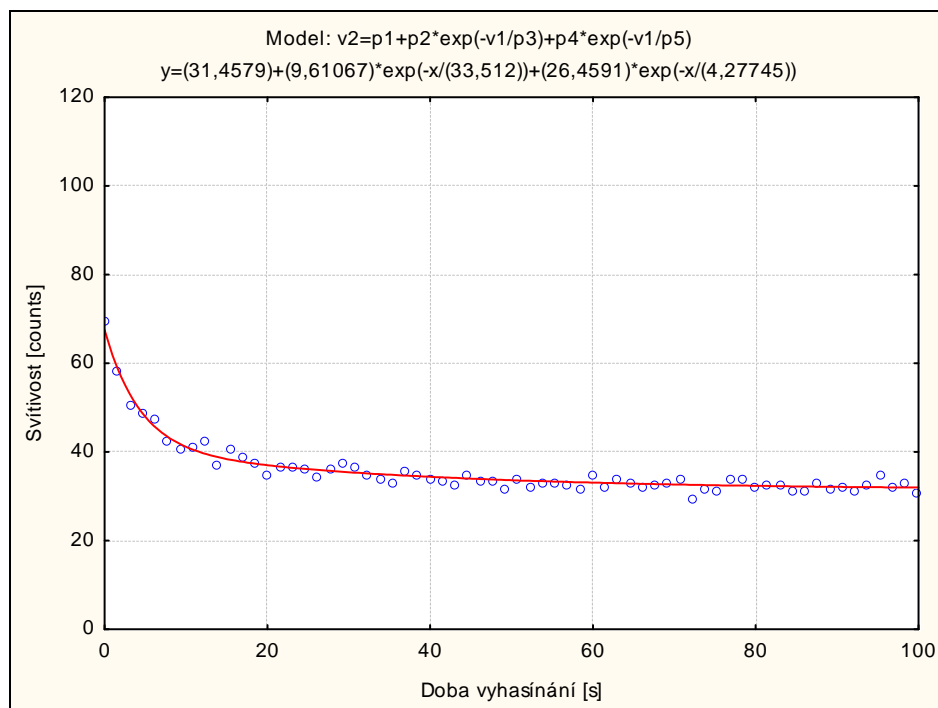
Graf č.7 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar  
– 1minuta



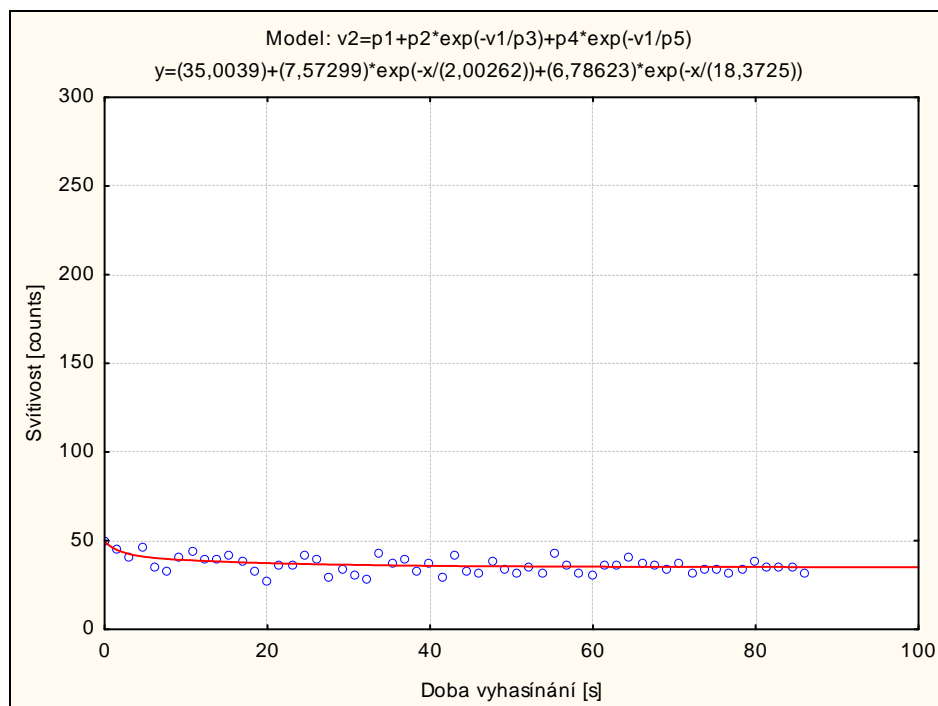
Graf č.8 Průběh vyhasínání luminiscence z MS Excel vysoce svítivého žlutého pigmentu 100 g/l 5x 1,1 bar  
– 1minuta

## Příloha č.2

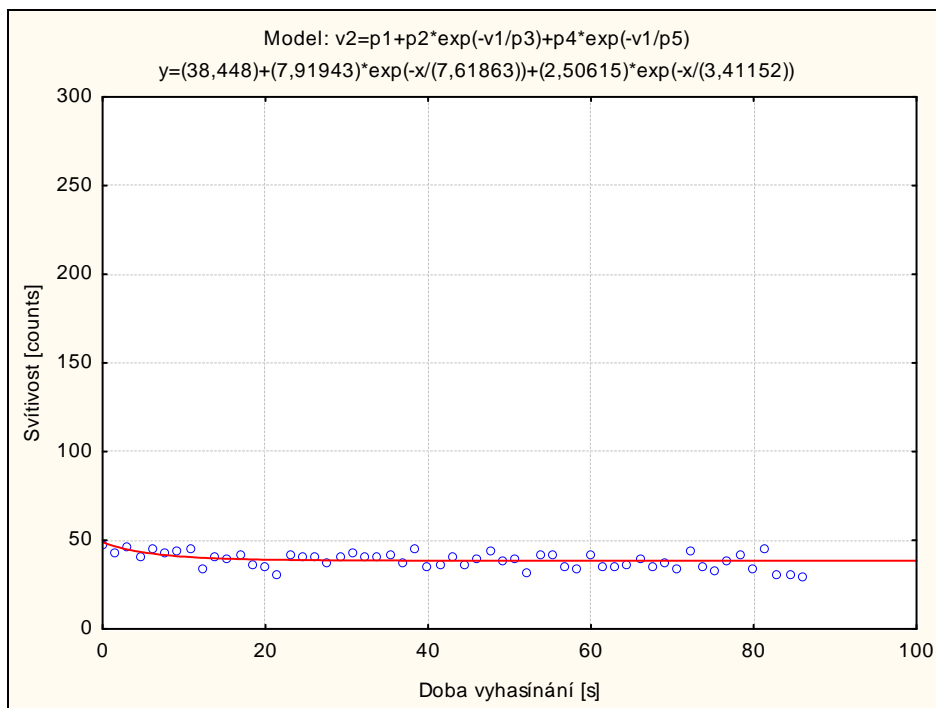
### Porovnání vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar ve STATISTICA 7.0



Graf č.9 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar – 1 minuta

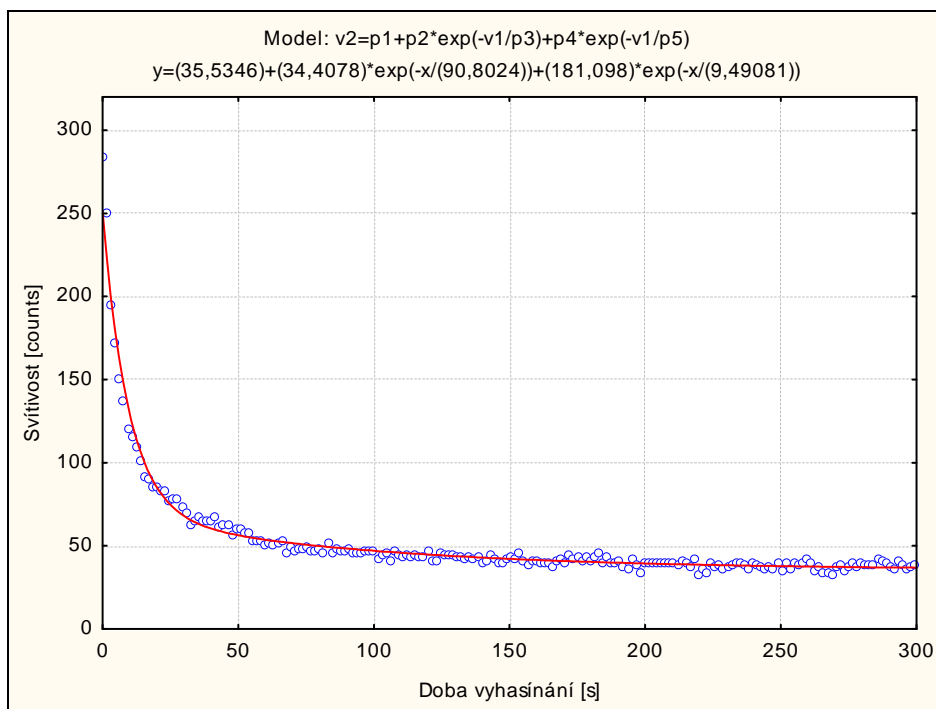


Graf č.10 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar – 5 minut

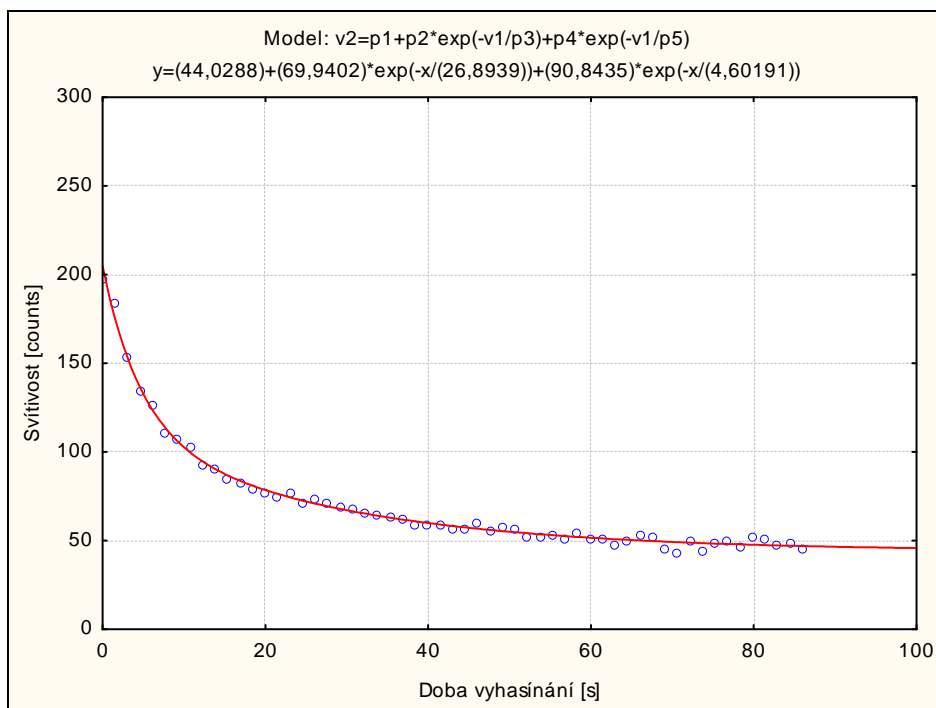


**Graf č.11 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 1x 1,1 bar – 10 minut**

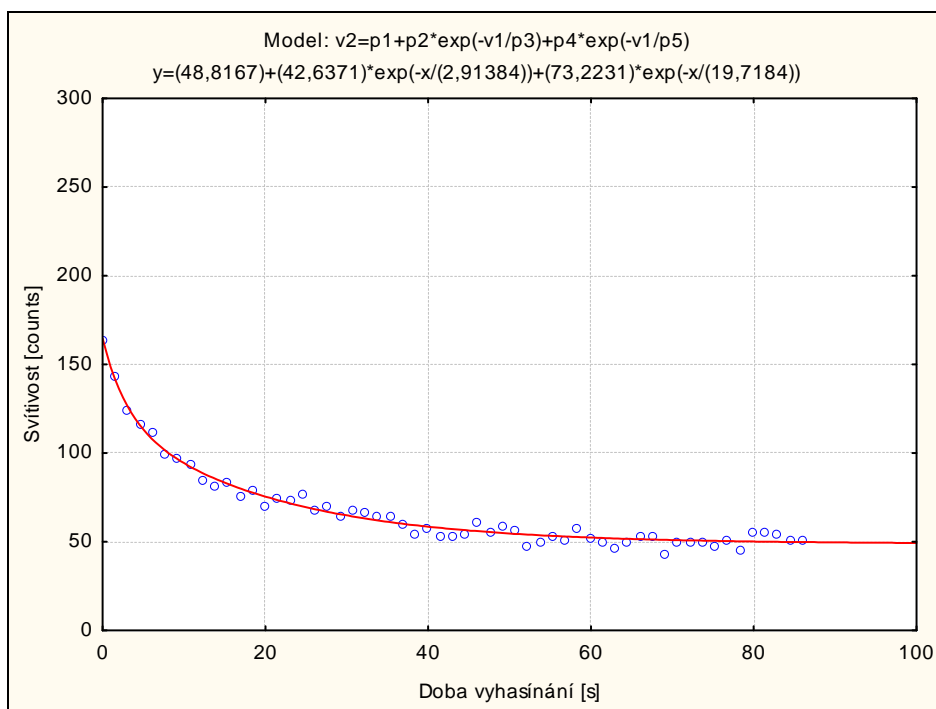
### Porovnání vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar ve STATISTICA 7.0



**Graf č.12 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 1,1 bar – 1 minuta**

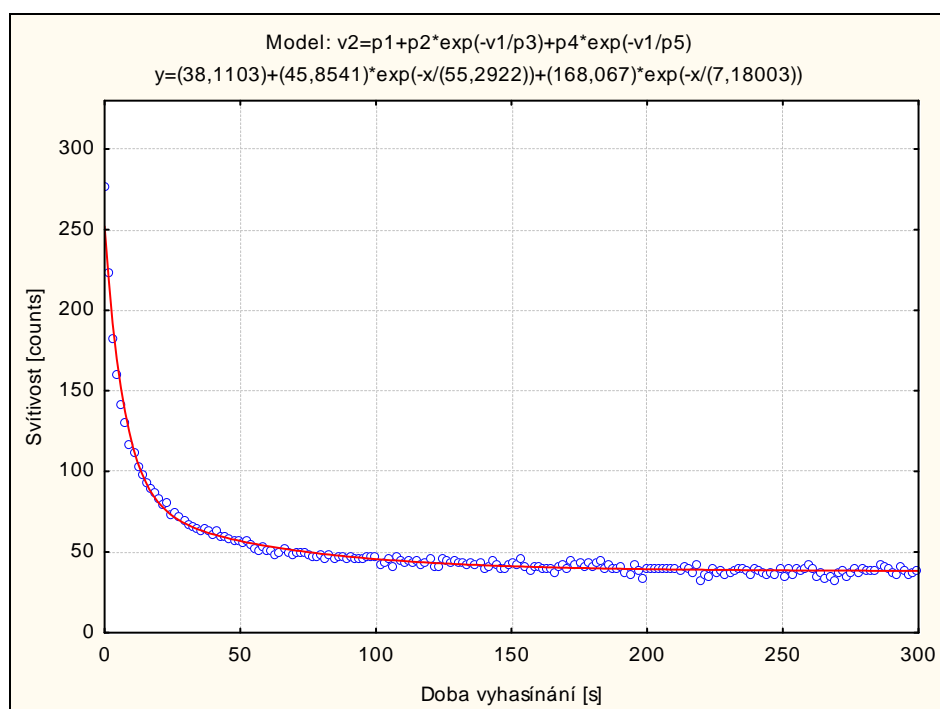


**Graf č.13 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l  
5x 1,1 bar – 5 minut**

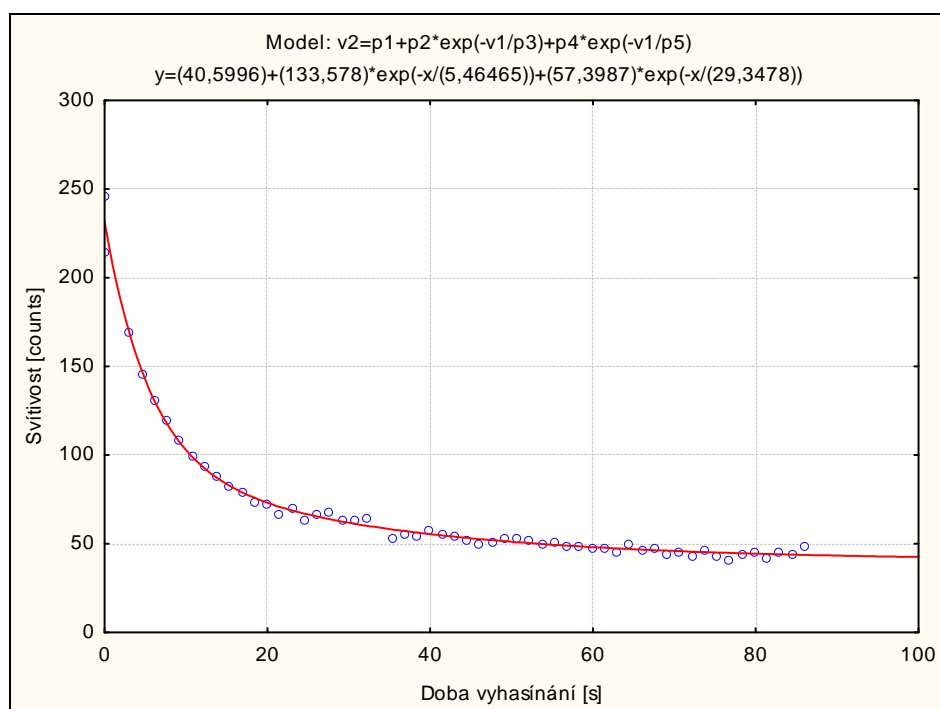


**Graf č.14 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l  
5x 1,1 bar – 10 minut**

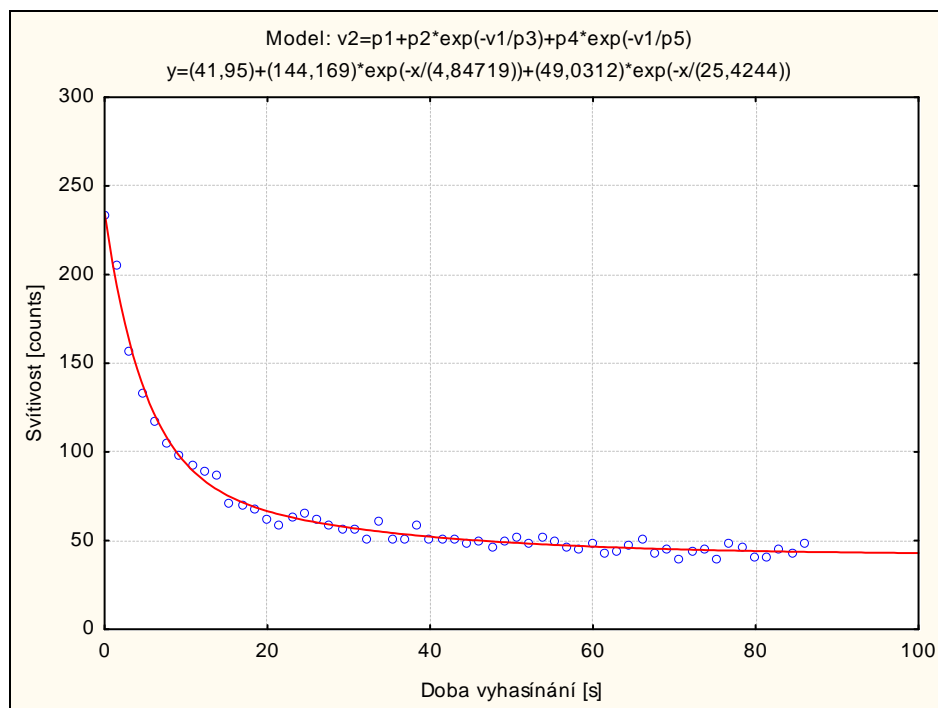
## Porovnání vysoce svítivého žlutého pigmentu 100 g/l 5x 1,1 bar ve STATISTICA 7.0



Graf č.15 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 100 g/l 5x 1,1 bar – 1 minuta



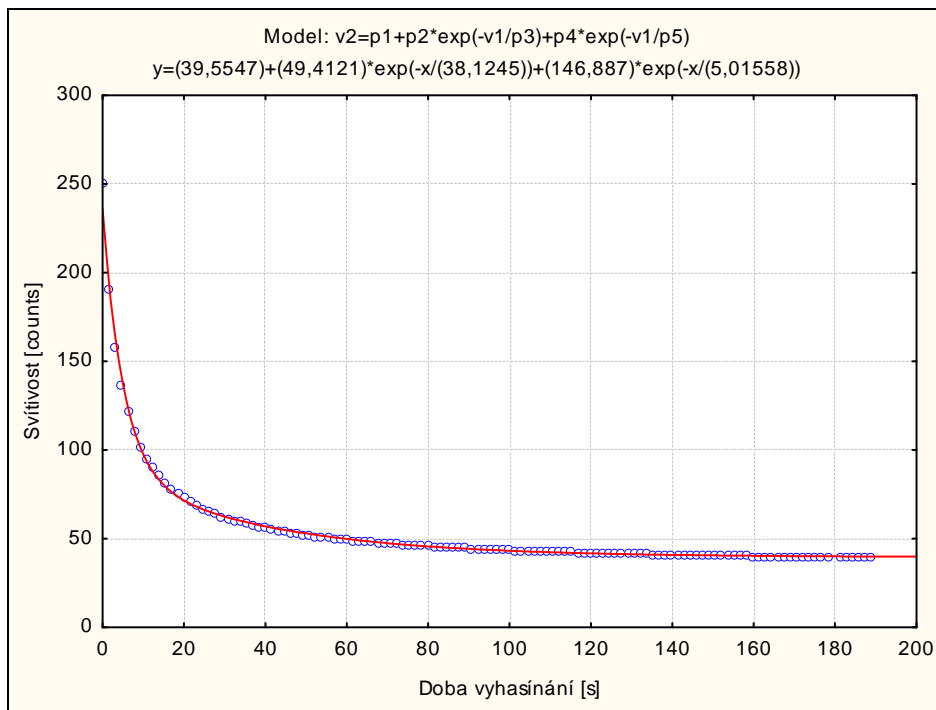
Graf č.16 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 100 g/l 5x 1,1 bar – 5 minut



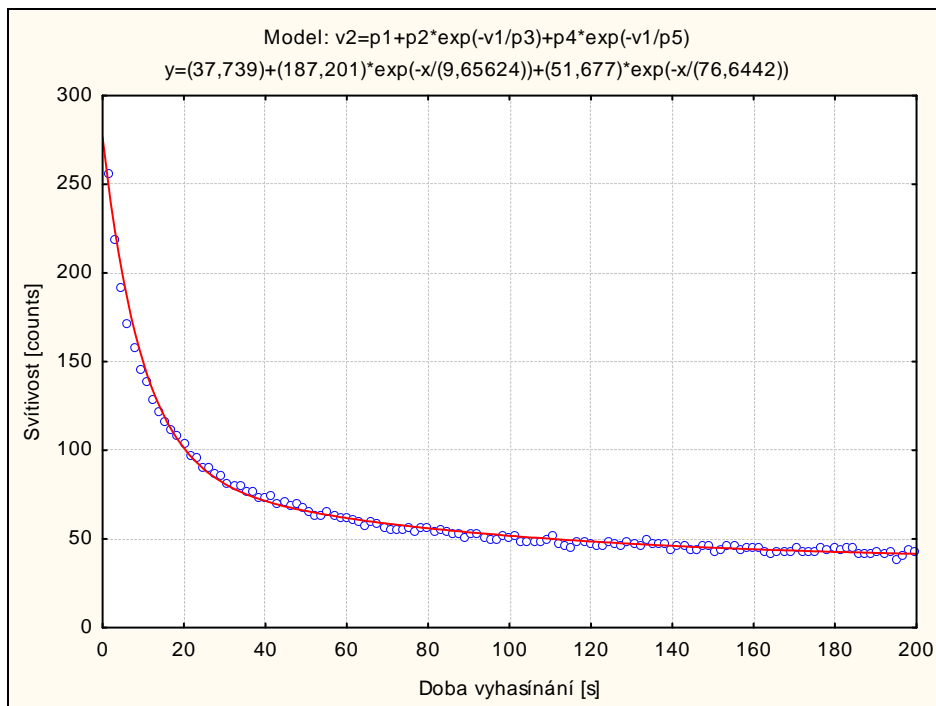
**Graf č.17 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 100 g/l 5x 1,1 bar – 10 minut**

### Příloha č.3

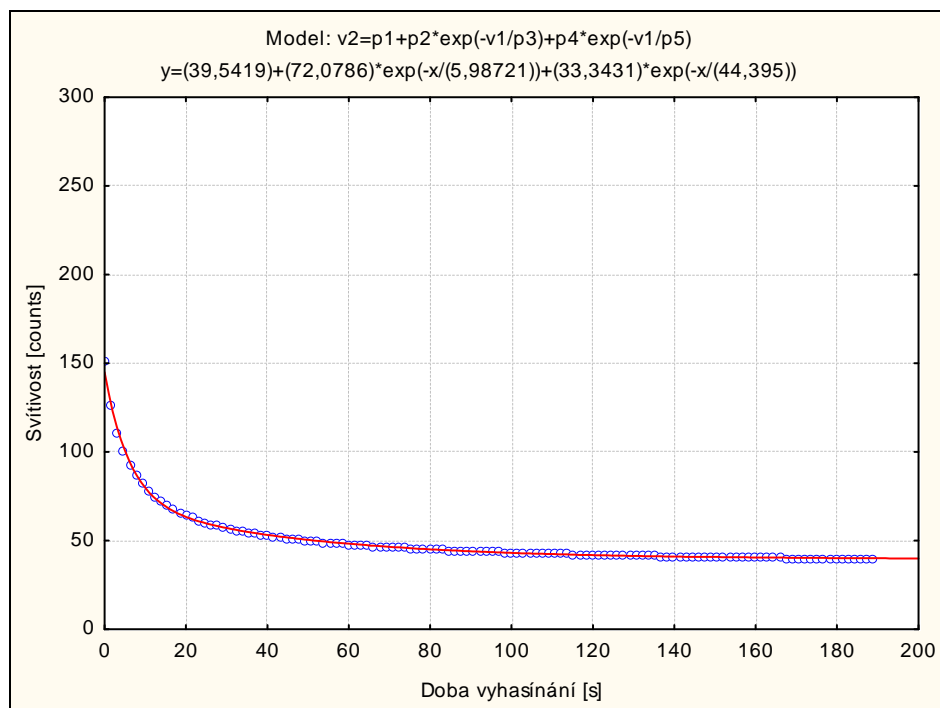
**Porovnání vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar při použití různých filtrů**



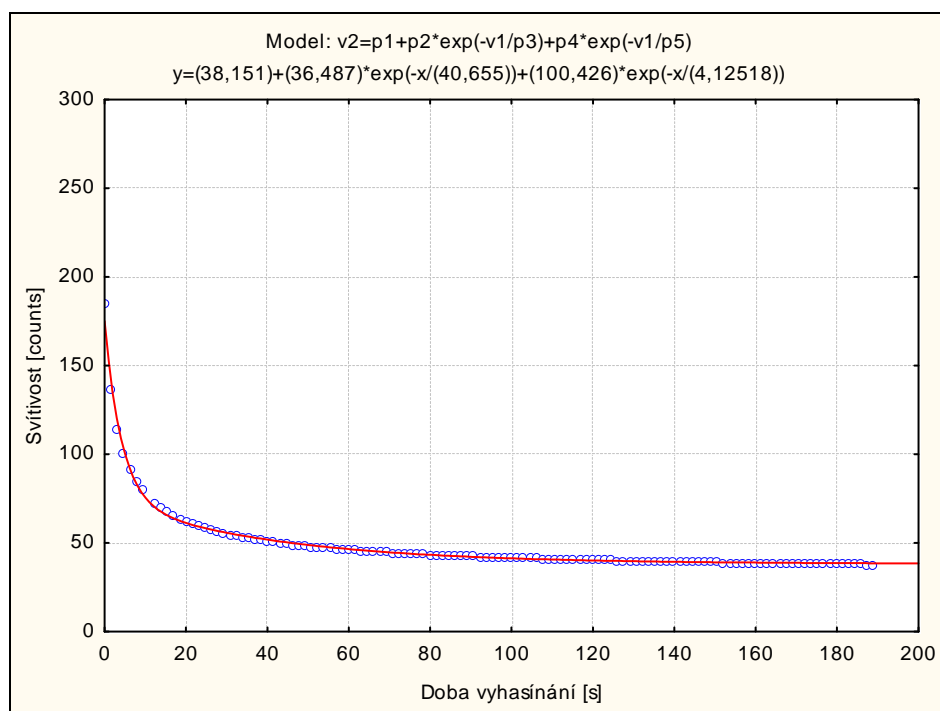
**Graf č.18 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar při měření bez filtru – 1minuta**



**Graf č.19 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar při použití modrého filtru – 1minuta**

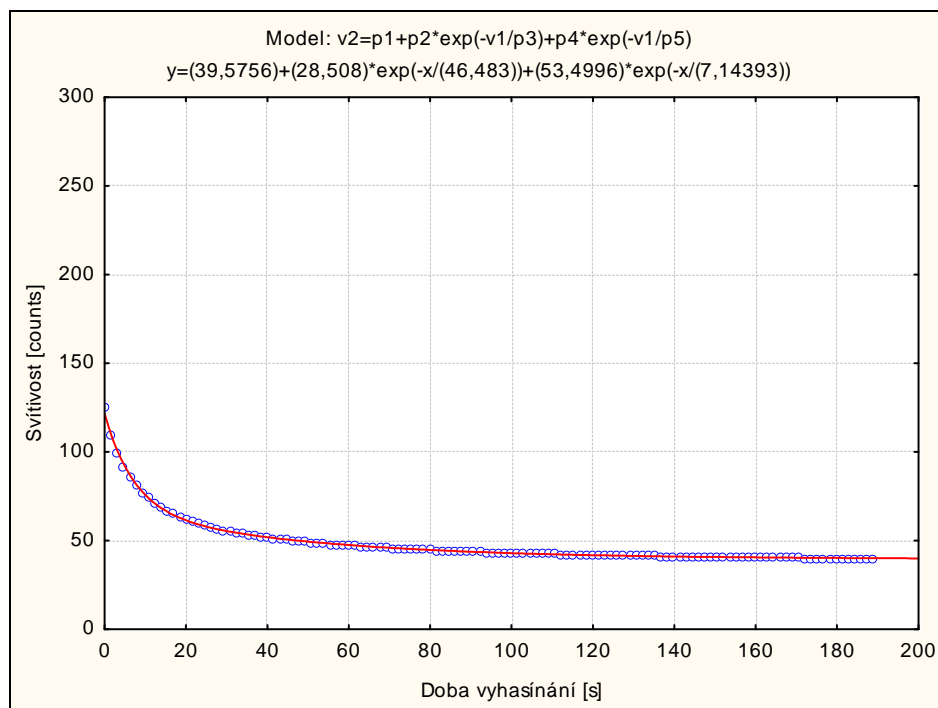


**Graf č.20 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar při použití červeného filtru – 1minuta**



**Graf č.21 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar při použití žlutého filtru – 1minuta**





**Graf č.22 Vyhasínání luminiscence z programu STATISTICA 7.0 vysoce svítivého žlutého pigmentu 75 g/l 5x 0,89 bar při použití ultrafialového filtru – 1minuta**